BUKU PANDUAN PRAKTIKUM GEOLISTRIK

IR. AGUS SANTOSO, M.SI, IPU
TIM ASISTEN GEOLISTRIK

NAMA

NIM

LABORATORIUM GEOFISIKA EKSPLORASI
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
YOGYAKARTA
2017

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan yang Maha Esa atas terselesainya buku Panduan Praktikum Geolistrik. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian buku Panduan Praktikum Geolistrik ini.

Harapan kami dari penyusunan buku ini agar dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa khususnya mahasiswa Teknik Geofisika yang sedang menempuh praktikum geolistrik. Kami menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan buku ini masih banyak terdapat kekurangan baik dari segi tata bahasa maupun isi. Oleh karena itu saran dan kritik dari pembaca sangat kami harapkan demi penyempurnaan buku ini dimasa yang akan datang.

Yogyakarta, 21 Agustus 2017

Editor.

STAF PENGAJAR DAN STAF ASISTEN

GEOLISTRIK

PERIODE 2017/2018

STAF PENGAJAR

Ir. Agus Santoso, M.Si, IPU

STAF ASISTEN GEOLISTRIK

Andika Leonardo Surya

Fandi Budi Setiawan

Made Denyz

Sari Hadisa

Alida Naufalia Ariba

Satriadi Budianto

Fahriansyah

Fajar Alpine

Abdussalam Gunoprayogo

R. D. Faathimah Roudhotul Ghinaa

Widodo Putra

Nur Arasyi

TATA TERTIB PRAKTIKUM GEOLISTRIK
PROGRAM STUDI TEKNIK GEOFISIKA

TATA TERTIB ACARA KELAS DAN LABORATORIUM

1. Berpakaian rapi, sopan, menggunakan sepatu dan tidak diperkenankan memakai kaos oblong dan bersandal.
2. Dilarang keras makan, minum minuman beralkohol, merokok, dan menggunakan *gadget* apapun selama kegiatan praktikum.
3. Praktikum hanya bisa diikuti sesuai jadwal yang telah ditentukan.
4. Praktikan diwajibkan hadir paling lambat 5 menit sebelum kegiatan praktikum dimulai untuk dilakukan kuis.
5. Praktikan yang terlambat kurang dari 10 menit diperkenankan mengikuti kegitan praktikum dengan sanksi nilai kuis tidak ada dan apabila telat lebih dari 15 menit dianggap tidak hadir.
6. Praktikan dianggap gugur jika tidak mengikuti acara praktikum lebih dari 2 kali.
7. Praktikan diharuskan membawa tugas yang telah diberikan sebelumnya dan telah di setujui oleh asisten, apabila tidak membawa, tidak ada nilai tugas.
8. Praktikan diharuskan membawa buku panduan praktikum, apabila tidak membawa, tidak diperkenankan mengikuti acara praktikum.
9. Praktikan dilarang keras menyalin laporan orang lain, jika tetap dilakukan maka dikenakan sanksi nilai minimum sesuai dengan kebijakan dosen dan asisten.
10. Praktikan yang hadir pada saat konsultasi maupun ACC akan diberikan tambahan nilai.
11. Disaat praktikum, praktikan tidak diperkenankan membawa, mengerjakan atau membahas tugas selain tugas praktikum yang bersangkutan.
12. Dilarang keras memalsukan bukti pengesahan asisten, sanksi tegas yaitu GUGUR!
13. Hasil dari kegiatan ekskursi akan dipresentasikan di akhir acara praktikum.
14. Pada saat konsultasi dan ACC praktikan diwajibkan membawa print out tugas dan lembar pengesahan.
15. Peraturan yang tidak tertulis disini akan diatur sesuai dengan kebijakan laboratorium masing-masing.

TATA TERTIB ACARA LAPANGAN

1. Acara lapangan termasuk rangkaian dari acara kelas.
2. Selama kegiatan praktikum lapangan boleh berpakaian bebas tetapi sopan dengan menggunakan sepatu dan menggunakan jaket prodi (korsa).
3. Praktikan tidak diperkenankan mengganggu atau merusak daerah disekitar lokasi pengambilan data.
4. Praktikan diwajibkan hadir paling lambat 10 menit sebelum kegitan praktikum dimulai untuk dilakukan kuis.
5. Praktikan yang terlambat lebih dari 15 menit diperkenankan mengikuti kegitan praktikum dengan sanksi nilai kuis tidak ada, dan apabila telat lebih dari 15 menit tidak bisa mengikuti acara lapangan.
6. Semua praktikan wajib menjaga dan bertanggung jawab terhadap kerusakan alat yang digunakan dalam pengambilan data.
7. Bila terjadi kerusakan alat maka menjadi tanggung jawab angkatan yang bersangkutan dan untuk alat yang rusak tersebut menjadi milik laboratorium geofisika eksplorasi.
8. Praktikan yang melakukan konsultasi dan ACC, akan mendapatkan nilai tambahan.
9. Pada saat konsultasi dan ACC praktikan diwajibkan membawa print out tugas dan lembar pengesahan.
10. Praktikan dilarang keras menyalin laporan orang lain, jika tetap dilakukan maka dikenakan sanksi nilai minimum sesuai dengan kebijakan dosen dan asisten.
11. Dilarang keras memalsukan bukti pengesahan asisten, sanksi tegas yaitu GUGUR!
12. Hasil dari kegiatan ekskursi akan dipresentasikan di akhir acara praktikum.
13. Pada saat konsultasi dan ACC praktikan diwajibkan membawa print out tugas dan lembar pengesahan.
14. Peraturan yang tidak tertulis disini akan diatur sesuai dengan kebijakan laboratorium masing-masing.

Yogyakarta, 17 Agustus 2017

Mengetahui

Koordinator Dosen

Koordinator Mahasiswa

Ir.Agus Santoso, M.Si, IPU

NIP. 19530816.198803.1.001

Fahriansyah

115.140.051

Kepala Laboratorium

Ardian Novianto, ST. MT

NPY. 278100702411

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i

KATA PENGANTAR ii

STAF PENGAJAR iii

TATA TERTIB iv

DAFTAR ISI vi

BAB I. PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang 1

I.2. Maksud dan Tujuan 1

I.3. Deskripsi Laboratorium Geolistrik 1

BAB II. KALIBRASI ALAT *RESISTIVITYMETER*

II.1. Kalibrasi *Resistivitymeter* 3

BAB III. DASAR TEORI

III.1. Listrik Dinamis 5

III.2. Metode Geolistrik 5

III.2.1. Sifat Kelistrikan Medium 7

III.2.2. Hukum Ohm dan Konsep Penjalaran Arus 9

III.2.3. Faktor Konfigurasi 11

III.2. Metode Resistivitas 15

III.2.1. Konsep Resistivitas Semu 15

III.2.2. Resistivitas Batuan 16

III.3. Metode Polarisasi Terimbas (*Induced Polarization*) 18

III.3.1. Mineral-Mineral yang Menimbulkan Gejala IP 18

III.3.2. Polarisasi Elektroda 19

III.3.3. Polarisasi Membran 20

III.3.4. Metoda Pengukuran 21

III.3.4.1 Efek Frekuensi 23

III.3.4.2. Faktor Metal 24

III.3.4.3. Sudut Fasa IP........ 24

III.3.4.4. Sumber Noise pada pengukuran IP........ 24

III.4. Metode Self Potential (SP)........ 25

III.4.1. Pengukuran Potensial Diri........ 27

III.5. Metode Mise A La Masse........ 28

BAB IV. KONFIGURASI

IV.1. Konfigurasi Wenner........ 30

IV.1.1 Konfigurasi Wenner Alpha 31

IV.1.2. Konfigurasi Wenner Beta 32

IV.1.3. Konfigurasi Wenner Gamma........ 33

IV.2. Konfigurasi Schlumberger 34

IV.3. Konfigurasi Dipole-Dipole........ 36

IV.4. Konfigurasi Mise A La Masse 39

IV.5. Konfigurasi Pole-Pole........ 40

IV.6. Konfigurasi Pole-Dipole 42

IV.6. Konfigurasi Wenner - Schlumberger 43

LAMPIRAN

DAFTAR PUSTAKA

BAB I
PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Geolistrik adalah suatu metode geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik dalam bumi dan bagaimana mendeteksinya dipermukaan bumi. Dalam hal ini meliputi pengukuran potensial, arus, dan medan elektromagnetik yang terjadi, baik secara alamiah maupun akibat injeksi arus kedalam bumi. Oleh karena itu metode geolistrik mempunyai banyak macam, termasuk didalamnya potensial diri, induksi polarisasi, dan resistivitas (tahanan jenis).

Metode-metode tersebut memiliki kegunaaan dan penerapan yang berbeda-beda. Metode resistivitas dapat digunakan untuk mengetahui nilai tahanan jenis dibawah permukaan sehingga metode ini cukup banyak digunakan dalam dunia eksplorasi khususnya eksplorasi air tanah dan batubara. Untuk metoda induksi polarisasi (IP) sering digunakan dalam melakukan eksplorasi logam, sedangkan metode potensial diri (SP) umumnya digunakan untuk mengetahui penyebaran zona mineralisasi secara lateral.

I.2. Maksud dan Tujuan

Maksud dari praktikum ini adalah agar praktikan dapat memahami dan mengerti kegunaan dari metode geolistrik, serta untuk mengetahui batuan dan kondisi geologi di bawah permukaan berdasarkan respon terhadap sinyal kelistrikan yang ditinjau dari parameter resistivitas medium.

Tujuannya adalah praktikan dapat mempraktikkan metode geolistrik baik pada tahap akuisisi, pengolahan data hingga tahap interpretasi. Dengan memahami sifat – sifat batuan, baik yang konduktif maupun resistif pada daerah yang diperkirakan potensial dengan mendeteksi perbedaan resistivitas semu daerah tersebut.

I.3. Deskripsi Laboratorium Geolistrik

Laboratorium Geolistrik bertempat di Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional "VETERAN" Yogyakarta. Laboratorium ini merupakan bagian dari Laboratorium Geofisika Eksplorasi, secara khusus Laboratorium Geolistrik berada di bawah bimbingan Ir. Agus Santoso, M.Si dan memiliki sebelas Asisten diantaranya bernama Andika Leonardo Surya, Fandi Budi Setiawan, Made Deny Setiawan, Alida Naufalia Ariba, Sari Hadisa, Satriadi Budianto, Fahriansyah, Fajar Alpine, Abdussalam Gunoprayogo, R. D. Faathimah Roudhotul Ghinaa, Widodo Putra, Nur Arasyi untuk membantu berjalannya praktikum Geolistrik.

BAB II

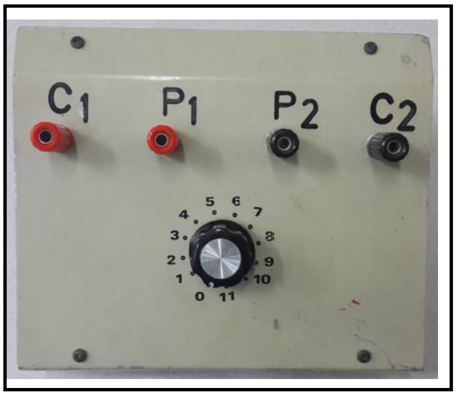
KALIBRASI ALAT *RESISTIVITYMETER*

II.1. Kalibrasi *Resistivitymeter*

Kalibrasi dilakukan pada tahap awal sebelum melakukan akuisisi data lapangan. Kalibrasi dimaksudkan untuk mengetahui kelayakan alat yang dipakai dengan cara mengkalkulasikan hasil yang didapatkan dari tes kalibrasi tersebut sampai didapatkan persen keakuratan alat. Kalibrasi tersebut diukur dari berbagai nilai hambatan (ohm) yang telah ditentukan pada tabel II.1. Keakuratan alat memiliki nilai toleransi antara 95 % - 105 %. Kalibrasi dilakukan sebelum melakukan suatu akuisisi data lapangan. Harga resistivitas yang didapatkan dari akuisisi data lapangan akan dikalibrasikan dengan persen keakuratan alat sehingga yang akan didapatkan adalah data yang lebih akurat. Pengukuran kalibrasi terhadap alat *resistivitymeter* dilakukan untuk menguji tingkat kelayakan alat dengan menggunakan alat kalibrator.

Tabel II.1. Nilai Kalibrasi terhadap channel yang digunakan

Channel	Ohm	Channel	Ohm
0	Tak hingga	6	22
1	0.22	7	100
2	0.47	8	220
3	1.47	9	470
4	4.7	10	1000
5	10	11	4700



Gambar II.1. Model Kalibrasi Resisitivitymeter dengan 11 channel.

Rumus-rumus yang digunakan dalam pengolahan data untuk mengetahui tingkat kelayakan *Resistivitymeter* yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.1)$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mathrm{Ri}}{n} \quad (2.2)$$

$$\frac{\bar{R}}{R\ channel} \times 100 = \% \quad (2.3)$$

$$\text{Toleransi } 95\% = \text{R channel} \times 95\% \quad (2.4)$$

$$\text{Toleransi } 105\% = \text{R channel} \times 105\% \quad (2.5)$$

Keterangan :

R = Resistensi

V = Beda Potensial

I = kuat arus listrik

$\bar{R}$ = Resistensi rata-rata

BAB III
DASAR TEORI METODE GEOLISTRIK

III. 1. Listrik Statis

Pada kehidupan, benda-benda tersusun oleh partikel terkecil yang bernama atom. Partikel terkecil itu terdiri dari 3 komponen yaitu proton, neutron dan elektron. Benda-benda yang bermuatan proton dan elektron disebut benda-benda bermuatan listrik. Muatan listrik dilambangkan dengan q. Diketahui jika Dua benda atau dua tempat yang muatan listriknya berbeda dapat menimbulkan arus listrik. Benda atau tempat yang muatan listrik positifnya lebih banyak dikatakan mempunyai potensial lebih tinggi.

Adapun, benda atau tempat yang muatan listrik negatifnya lebih banyak dikatakan mempunyai potensial lebih rendah. Dua tempat yang mempunyai beda potensial dapat menyebabkan terjadinya arus listrik. Syaratnya, kedua tempat itu dihubungkan dengan suatu penghantar. Dalam kehidupan sehari-hari, beda potensial sering dinyatakan sebagai tegangan dan dilambangkan dengan (ΔV). Beda potensial sendiri bisa didefinisikan sebagai banyaknya energi listrik atau usaha yang diperlukan untuk mengalirkan setiap muatan listrik dari ujung-ujung penghantar. Arus listrik dapat mengalir pada rangkaian listrik apabila dalam rangkaian itu terdapat beda potensial dan rangkaiannya tertutup.

III.2. Metode Geolistrik

Tujuan dari survei Geolistrik adalah untuk menentukan distribusi resistivitas bawah permukaan dengan melakukan pengukuran di permukaan tanah. Dari pengukuran tersebut, resistivitas sebenarnya di bawah permukaan bumi dapat diperkirakan. Resistivitas tanah berkaitan dengan berbagai parameter geologi seperti mineral dan konten fluida, porositas dan derajat kejenuhan air di batuan. Survei resistivitas listrik telah digunakan selama beberapa dekade di *hidrogeological,* pertambangan, dan investigasi *geothecnical.* Baru-baru ini, telah digunakan untuk survei lingkungan. (Dr. M. H. Loke, 1996-2004)

Secara garis besar metode geolistrik dibagi menjadi dua macam, yaitu :

1. Geolistrik yang bersifat pasif

Geolistrik dimana energi yang dibutuhkan telah ada terlebih dahulu secara alamiah sehingga tidak diperlukan adanya injeksi/pemasukan arus terlebih dahulu. Geolistrik jenis ini disebut *Self Potential* (SP).

Pengukuran SP dilakukan pada lintasan tertentu dengan tujuan untuk mengukur beda potensial antara dua titik yang berbeda sebagai V_1 dan V_2. cara pengukurannya dengan menggunakan dua buah *porouspot* dimana tahanannya selalu diusahakan sekecil mungkin. Kesalahan dalam pengukuran SP biasanya terjadi karena adanya aliran fluida dibawah permukaan yang mengakibatkan lompatan-lompatan tiba-tiba terhadap terhadap nilai beda potensial. Oleh karena itu metode ini sangat baik untuk eksplorasi *geothermal.*

2. Geolistrik yang bersifat aktif

Geolistrik dimana energi yang dibutuhkan ada, akibat penginjeksian arus ke dalam bumi terlebih dahulu oleh elektroda arus. Geolistrik jenis ini ada dua metode, yaitu metode Resistivitas (*Resistivity*) dan Polarisasi Terimbas (*Induce Polarization*).

Yang akan dibahas lebih lanjut adalah geolistrik yang bersifat aktif. Metode yang diuraikan ini dikenal dengan nama geolistrik tahanan jenis atau disebut dengan metode Resistivitas (*Resistivity*).

Tiap-tiap media mempunyai respon sifat yang berbeda terhadap aliran listrik yang melaluinya, hal ini tergantung pada tahanan jenis yang dimiliki oleh masing-masing media. Pada metode ini, arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua buah elektroda arus dan beda potensial yang terjadi diukur melalui dua buah elektroda potensial. Dari hasil pengukuran arus dan beda potensial untuk setiap jarak elektroda berbeda kemudian dapat diturunkan variasi harga hambatan jenis masing-masing lapisan bawah permukaan bumi, dibawah titik ukur (*Sounding Point*).

Metode ini lebih efektif bila dipakai untuk eksplorasi yang sifatnya relatif dangkal. Metode ini jarang memberikan informasi lapisan kedalaman yang lebih dari 1000 atau 1500 *feet.* Oleh karena itu metode ini jarang digunakan untuk eksplorasi hidrokarbon, tetapi lebih banyak digunakan untuk bidang *engineering geology* seperti penentuan kedalaman batuan dasar, pencarian reservoar air, eksplorasi *geothermal*, dan juga untuk geofisika lingkungan.

Jadi metode resistivitas ini mempelajari tentang perbedaan resistivitas batuan dengan cara menentukan perubahan resistivitas terhadap kedalaman. Setiap medium pada dasarnya memiliki sifat kelistrikan yang dipengaruhi oleh batuan penyusun/komposisi mineral, homogenitas batuan, kandungan mineral, kandungan air, permeabilitas, tekstur, suhu, dan umur geologi. Beberapa sifat kelistrikan ini adalah potensial listrik dan resistivitas listrik.

III.2.1. Sifat Kelistrikan Medium

Geolistrik resistivitas memanfaatkan sifat konduktivitas batuan untuk mendeteksi keadaan bawah permukaan. Sifat dari resistivitas batuan terdapat 3 macam, yaitu :

1. *Medium konduktif*

   Medium yang mudah menghantarkan arus listrik. Besar resistivitasnya adalah 10^{-8} ohm m sampai dengan 1 ohm m.
2. *Medium semikonduktif*

   Medium yang cukup mudah untuk menghantarkan arus listrik. Besar resistivitasnya adalah 1 ohm m sampai dengan 10^{7} ohm m.
3. *Medium resistif*

   Medium yang sukar untuk menghantarkan arus listrik. Besar resistivitasnya adalah lebih besar 10^{7} ohm m.

Dalam batuan, atom-atom terikat secara kovalen, sehingga batuan mempunyai sifat menghantar arus listrik. Aliran arus listrik didalam batuan/mineral dapat digolongkan menjadi 3, yaitu :

1. *Konduksi secara elektronik*

   Terjadi jika batuan/mineral mempunyai banyak elektron bebas sehingga arus listrik dapat mengalir karena adanya elektron bebas.
2. *Konduksi elektrolitik*

   Terjadi jika batuan/mineral bersifat *porous*/pori-pori tersebut terisi oleh cairan-cairan elektrolit dimana arus listrik dibawa oleh ion-ion elektrolit secara perlahan-lahan.
3. *Konduksi dielektrik*

   Terjadi jika batuan/mineral bersifat dielektrik terhadap aliran arus listrik, yaitu terjadi polarisasi saat bahan-bahan dialiri arus listrik.

Batuan yang mempunyai resistivitas (tahanan jenis) tinggi maka konduktivitasnya (kemampuan mengahantarkan arus listrik) akan semakin kecil, demikian pula sebaliknya bila batuan dengan resistivitas rendah maka konduktivitasnya akan semakin besar.

Sifat kelistrikan batuan digolongkan menjadi 3, yaitu :

1. *Resisitivitas*

   Batuan dianggap sebagai medium listrik yang mempunyai tahanan listrik. Suatu arus listrik berjalan pada suatu medium/batuan akan menimbulakn densitas arus dan intensitas arus.

2. *Aktivitas elektro kimia*

   Aktivitas elektrokimia batuan tergantung dari komposisi mineralnya serta konsentrasi dan komposisi elektrolit yang terlarut dalam air tanah (*Ground Water*) yang kontak dengan batuan tersebut.

3. *Konstanta dielektrik*

   Konstanta dielektrik pada batuan biasanya berhubungan dengan permeabilitas dalam material/batuan yang bersifat magnetik.

Kita juga dapat melihat bahwa sifat kelistrikan batuan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain adalah :

1. Kandungan mineral logam
2. Kandungan mineral non logam
3. Kandungan elektrolit padat
4. Kandungan air garam
5. Perbedaan tekstur batuan
6. Perbedaan porositas batuan
7. Perbedaan permeabilitas batuan
8. Perbedaan temperatur

Keuntungan dari metode *resistivity* (tahanan jenis) ini adalah :

1. Dapat membedakan macam-macam batuan tanpa melakukan pengeboran
2. Biayanya relatif murah
3. Pengoperasiannya mudah

III.2.2. Hukum Ohm dan Konsep Penjalaran Arus

Seperti yang pernah diketahui pada pelajaran listrik statis maupun listrik dinamis pada saat duduk di bangku sekolah, muatan positif dan muatan negatif mempunya sifat dengan gaya yang saling tarik menarik sedangkan muatan denan tipe yang sama akan saling tolak menolak. Pada baterai terdapat kutub positif dan kutub negatif pada kedua ujungnya. Bisa dibilang bahwa pada ujung positif terdapat muatan positif dan pada ujung negatif terdapat muatan negatif, dan energi yang digunakan untuk mempertahankan kedua muatan terpisah bisa disebut sebagai potensial dari baterai. Oleh karena itu terdapat perbedaan potensial di kedua ujung baterai tersebut. Untuk menghilangkan atau menggunakan energi dari baterai tersebut, kedua ujung baterai bisa disambungkan dengan konduktor listrik sehingga akan tercipta arus listrik. Muatan positif bergerak dari kutub positif dan begitu sebaliknya. Meskipun arus listrik terdiri dari pergerakan kedua muatan tersebut, secara konvensional disepakati arah pergerakan arus listrik mengikuti pergerakan muatan positif sehingga dianggap pergerakan arus listrik adalah dari kutub positif ke kutub negatif.

A. Hukum Ohm

Seperti yang tadi dijelaskan bahwa dari sebuah baterai terdapat perbedaan potensial di kedua ujungnya. Ketika konduktor listrik dihubungkan maka akan tercipta arus listrik yang menyebabkan perubahan dari perbedaan potensial tersebut.

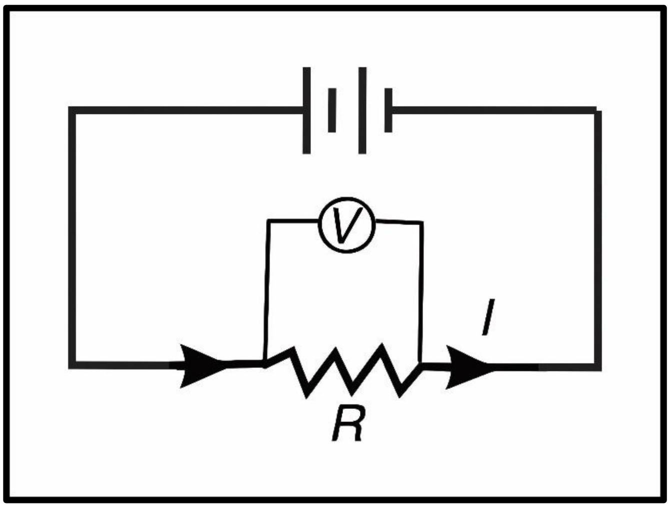
Georg Ohm (1825) membuat pendefinisian untuk resistansi R dari suatu struktur dengan membandingkan tegangan pada kedua ujungnya dengan arus yang mengalir menembus permukaan struktur itu :

$$R = \frac{V}{I} \tag{3.1}$$

Sebagai suatu besaran yang menyatakan kemampuan dari suatu struktur untuk melakukan perlawanan terhadap aliran arus.

Jika resistansi dari struktur itu besar, maka dibutuhkan beda potensial yang besar untuk mengalirkan arus tertentu.(Alaydrus, 2014: 128).

Berikut adalah contoh ilustrasi dari Hukum Ohm di atas :



Gambar III.1. Rangkaian listrik yang terdiri dari baterai dan resistor. karena resistor menghambat aliran arus , ada perubahan dalam potensial (V) di resistor yang sebanding dengan arus (I) dan resistensi (R). (Robinson, 1988: 448)

Setelah memahami konsep dari hukum Ohm tersebut, sekarang difokuskan terhadap resistor tersebut. Dimisalkan jika resistor tersebut berbentuk balok dengan panjang L dan luas alasnya A. Srus listrik yang melewati resistor tersebut terdistribusi secara merata dari awal sampai akhir, sehingga resistansi (R) akan dipengaruhi oleh panjang (L) medium yang dilewati seluas suatu daerah (A) serta resistivitas (ρ) yang mewakili jenis bahan resistor tersebut. Yang dirumuskan sebagai berikut :

$$R = \frac{\rho L}{A} \tag{3.2}$$

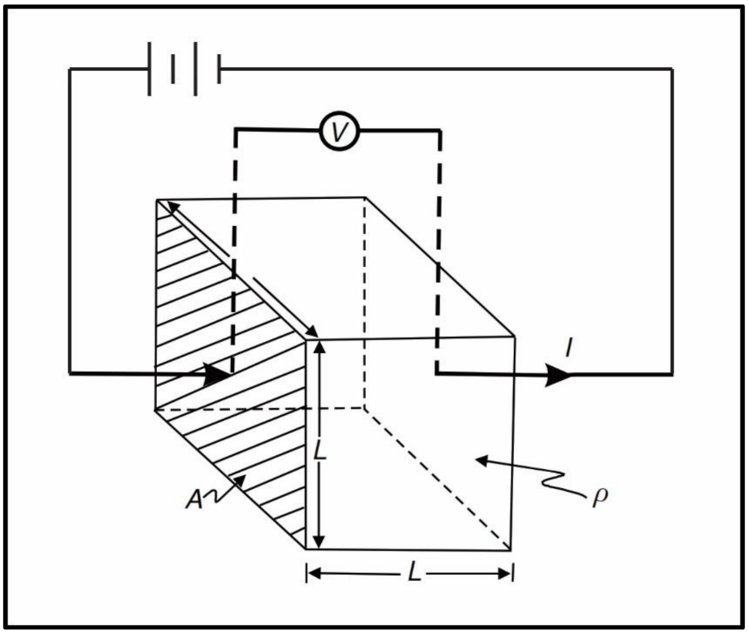
Dari persamaan diatas susunannya bisa dirubah sehingga didapatkan rumus :

$$\rho = \frac{RA}{L} \tag{3.3}$$

Dari persamaan 3.3 bisa dipahami bahwa satuan untuk resistivitas adalah Ohm.meter (Ω.m). Dari persamaan 3.2 bisa diambil kesimpulan bahwa resistansi bisa diperbesar dengan memperpanjang lintasan yang dilewati muatan, selain itu bisa resistansi bisa diperkecil dengan mempersempit luas area yang dilewati oleh arus sehingga arus listrik akan tekonsentrasi dengan lebih baik. Konsentrasi dari arus listrik tersebut bisa disebut dengan densitas arus yang dirumuskan sebagai berikut :

$$\mu = \frac{I}{A} \tag{3.4}$$

Konsep diatas diilustrasikan dengan gambar III.2 dibawah ini :

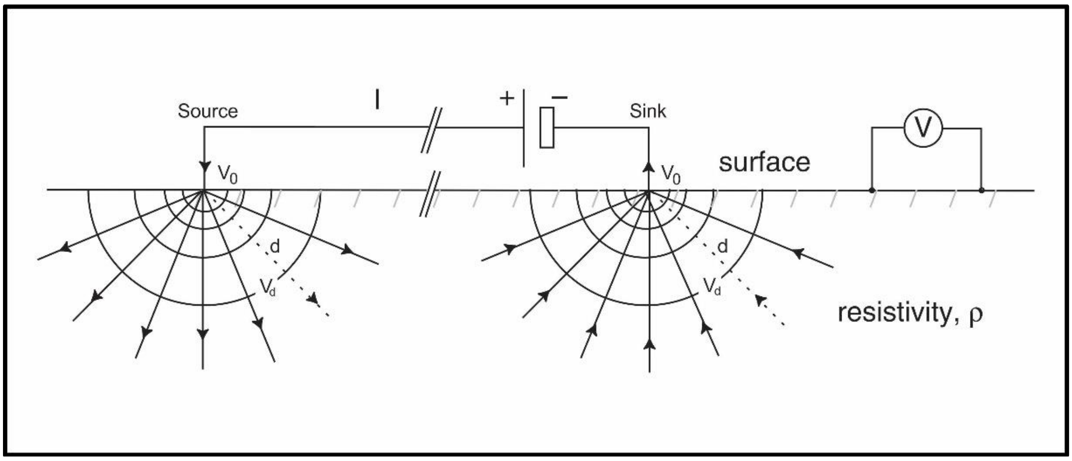


Gambar III.2. Resistor listrik yang terbuat dari balok. Arus listrik (I) yang menjalar di sepanjang rangkaian besarnya berbanding lurus dengan resistensi dari balok tersebut. (Robinson, 1988: 448)

III.2.3. Faktor Konfigurasi

Setelah memahami konsep penjalaran arus, sekarang akan dijelaskan mengenai penjalaran arus secara 3 dimensi dengan bumi sebagai resistornya sehingga nantinya akan didapatkan faktor konfigurasi untuk metode geolistrik. Ketika melakukan akuisisi dengan geolistrik, kita membuat suatu rangkaian listrik dengan bumi sebagai resistor dan dihubungkan dengan elektroda sebagai penghantar listrik. Elektroda yang menghubungan kutub positif baterai disebut dengan *source* sedangkan kutub negatif disebut dengan *sink*. Untuk mempermudah penjelasan, akan dibahas secar terpisah antar *source* dan *sink*. Selain itu akan digunakan asumsi seperti pada geomagnetik tentang kutub positif dan kutub negatif, serta diasumsikan resistivitas bumi konstan untuk mempermudah pemahaman. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa arus listrik bergerak dari kutub positif ke kutub negatif dari baterai. Karena resistivitas bumi dianggap konstan, maka arus listrik yang menjalar akan terdistribusi secara merata dan bergerak secara radial atau ke segala arah.

Penjalaran arus didalam bumi diilustrasikan dengan gambar III.3 berikut :



Gambar III.3. Penjalaran arus listrik secara radial ke segala arah. (Modifikasi Robinson, 1988: 449)

Pada *source*, arus listrik yang menjalar ke segala arah itu akan terhambat oleh resistor sepanjang jarak d dengan penjalaran setengah bola. Dimisalkan zona setengah bola ini adalah resistor bumi, sehingga arus listrik menjalar dengan luas area $2\pi d^2$, berdasarkan persamaan 3.2 maka akan didapatkan rumus sebagai berikut :

$$R = \frac{\rho d}{2\pi d^2} = \frac{\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{d}\right) \tag{3.5}$$

Dengan mengetahui persamaan diatas maka bisa diketahui perubahan potensial dengan menerapkan hukum ohm sehingga didapatkan :

$$v = IR = \frac{I\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{d}\right) = v_0 - v_d \tag{3.6}$$

Persamaan 3.6 menjelaskan perbedaan potensial dari titik v_0 sampai ke titik v_d. dapat ditarik kesimpulan juga bahwa di titik manapun dalam radius di permukaan setengah bola nilainya akan sama, ini yang disebut dengan permukaan ekuipotensial.

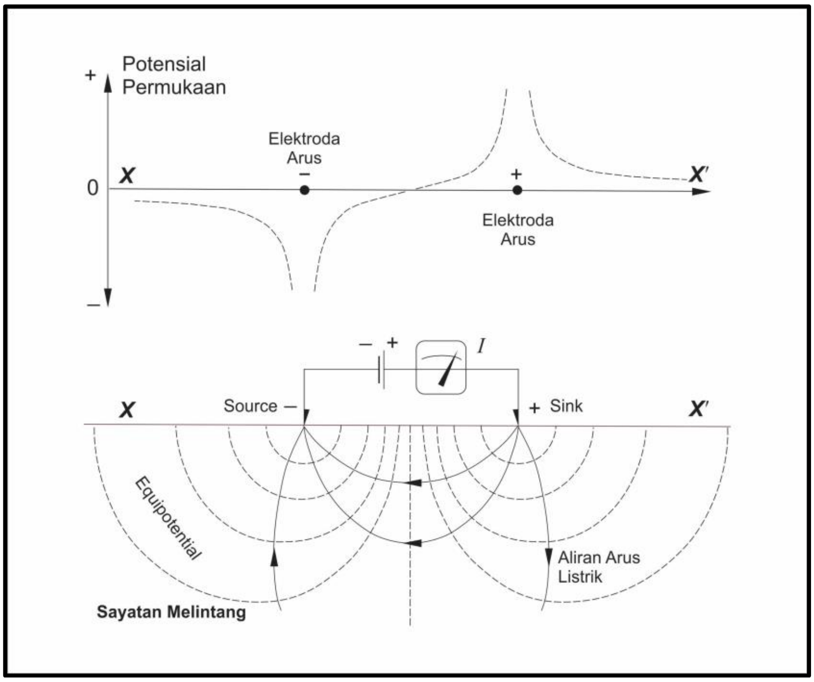
Setelah melihat dari sisi *source,* maka sekarang akan ditinjau dari sisi *sink*, konsepnya adalah sama hanya saja perbedaannya dari sisi penjalaran arus yaitu dari titik v_d sampai ke titik v_0 karena diketahui di elektroda *sink* penjalaran arusnya adalah masuk. Sehingga dengan cara yang sama akan didapatkan persamaan :

$$-v = IR = \frac{I\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{d}\right) = v_d - v_0 \tag{3.7}$$

Setelah didapatkan efek dari kedua elektroda tersebut, untuk mendapatkan beda potensial di suatu titik ditanah maka harus dikombinasikan diantara keduanya sehingga didapatkan persamaan :

$$v = \frac{I\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2}\right) \quad (3.8)$$

Setelah memahami efek dari elektroda arus, sekarang kita juga harus memahami efek dari elektroda potensial karena dalam akuisisi geolistrik digunakan 4 elektroda untuk mendapatkan hasil berupa nilai arus listrik dan potensial listrik yang diilustrasikan pada gambar III.4. berikut :



Gambar III.4. Contoh rangkaian elektroda dalam akuisisi geolistrik dengan menggunakan 4 elektroda. (Modifikasi Robinson, 1988: 460)

Seperti pada elektroda arus tadi, pada elektroda potensial pun berlaku hal yang sama untuk mendapatkan nilai potensialnya. Pada elektroda potensial M akan dipengaruhi oleh elektroda arus A dan B dengan jarak d_1 dan d_2. Berdasarkan persamaan 3.8 akan didapatkan persamaan :

$$v_M = \frac{I\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2}\right) \quad (3.9)$$

Dan pada elektroda potensial N akan dipengaruhi juga oleh elektroda arus A dan B dengan jarak d_3 dan d_4. Berdasarkan persamaan 3.8 juga akan didapatkan persamaan :

$$v_N = \frac{I\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{d_3} - \frac{1}{d_4}\right) \quad (3.10)$$

Sehingga untuk mendapatkan beda potensial antara titik M dan N akan didapatkan persamaan :

$$v_{MN} = \frac{I\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_3} + \frac{1}{d_4}\right) \quad (3.11)$$

Dan untuk mencari nilai resistivitas persamaan 3.11 bisa disusun ulang menjadi :

$$\rho = 2\pi\frac{v_{MN}}{I}\left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_3} + \frac{1}{d_4}\right)^{-1} \quad (3.11)$$

Karena tadi resistivitas dianggap sama untuk semua titik di permukaan ekuipotensial maka dianggap resistivitas yang didapat adalah resistivitas semu atau biasa disebut *apparent resistivity* (ρ) yang dirumuskan dengan :

$$\rho = \frac{v_{MN}}{i} K \quad (3.12)$$

Dengan K adalah faktor geometri yang nilainya akan bergantung dari rangkaian elektroda yang digunakan :

$$K = 2\pi\left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_3} + \frac{1}{d_4}\right)^{-1} \quad (3.13)$$

III.2. Metode Resistivitas

Metode Resistivitas adalah salah satu dari metode geolistrik yang digunakan untuk menyelidiki struktur bawah permukaan berdasarkan perbedaan resistivitas batuan. Dasar dari metode resistivitas adalah hukum ohm yaitu dengan cara mengalirkan arus kedalam bumi melalui elektroda arus dan mengukur potensialnya di permukaan bumi dengan menggunakan elektroda potensial (*Telford dkk*, 1976).

Metode resistivitas merupakan salah satu metode geolistrik yang bersifat aktif dimana energi yang dibutuhkan diperoleh dari penginjeksian arus ke dalam bumi terlebih dahulu. Metode ini bertujuan untuk identifikasi endapan mineral, panas bumi (*geothermal*), batubara serta pencarian akuifer air tanah.

Resistivitas atau tahanan jenis suatu bahan adalah besaran atau parameter yang menunjukan tingkat hambatannya terhadap arus listrik. Bahan yang mempunyai nilai resistivitas atau tahanan jenisnya makin besar, berarti semakin sukar untuk dilalui oleh arus listrik.

Nilai dari hambatan dideskripsikan sebagai tahanan jenis dengan satuan ohm meter (Ω-m). Dan besaran dari tahanan jenis ini merupakan besaran yang menjadi target utama dalam pengukuran geolistrik.

III.2.1. Konsep Resistivitas Semu

Prinsip dari metode resistivitas adalah mengalirkan arus searah pada permukaan tanah sehingga beda potensial pada dua titik dapat diukur. Teori dasar dari metode resistivitas adalah Hukum Ohm, yaitu hubungan antara arus yang dialirkan dan beda potensial yang terukur.

Hubungannya adalah sebagai berikut (*Telford*, 1976): $$R = \frac{V}{I} \qquad \text{(III.17)}$$

Keterangan :

R : tahanan (Ohm-meter)

V : tegangan (mV)

I : kuat arus (mA)

Sedangkan tahanan jenis berbanding terbalik terhadap daya hantar listrik, sehingga dirumuskan sebagai : $\rho = \frac{1}{\sigma}$ (III.18)

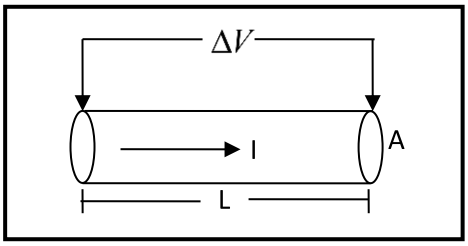
Keterangan :

ρ : tahanan jenis (ohm-meter)

σ : daya hantar listrik

III.2.2. Resistivitas Batuan

Batuan merupakan suatu materi sehingga mempunyai sifat kelistrikan yang berbeda-beda. Batuan di alam ini dapat dianggap sebagai medium listrik seperti pada kawat penghantar listrik, sehingga mempunyai tahanan listrik *(resistivity)*.



Gambar III.4. Hambatan listrik pada sebuah kawat, dengan panjang L dan luas A. (*Suroso*, 2011)

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} \times \frac{A}{L} \quad \text{(III.19)}$$

Keterangan : ΔV = beda potensial (mV)

A = luas penampang (mm^2)

L = panjang kawat (m)

Untuk pengukuran langsung di lapangan, batuan pada setiap perlapisannya memiliki nilai resistivitas yang berbeda-beda sehingga dikenal dengan istilah resistivitas semu (*apparent resistivity*).

Fakor-faktor yang mempengaruhi nilai resistivitas antara lain:

a. Kandungan air. Suatu medium yang memiliki kandungan air maka memiliki nilai resistivitas yang lebih rendah bila dibandingkan medium yang kering.

b. Porositas. Porositas adalah perbandingan volume pori-pori suatu medium terhadap volume medium tersebut. Semakin besar volume pori-pori suatu medium maka akan mempunyai nilai resistivitas yang kecil karena memberikan kandungan cairan yang lebih banyak.
c. Kepadatan. Semakin padat batuan akan meningkatkan nilai resistivitas
d. Permeabilitas batuan.

Diasumsikan medium homogen

Resistivitas : $\rho = k.\dfrac{\Delta V}{I}$ (III.20)

Dimana :

ρ	= resistivitas
k	= faktor geometri
ΔV	= beda potensial
I	= kuat arus

Karena dalam medan homogen, maka resistivitas semu adalah resistivitas yang sebenarnya dan tidak tergantung spasi elektrodanya.

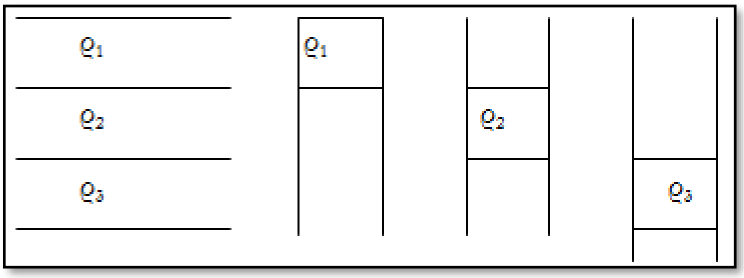
Diasumsikan medium tidak homogen

Resistivitas :

$$\rho = k.\frac{\Delta V}{I} \quad \text{(III.21)}$$

Disini resistivitas yang terukur (*Apparent Resistivity*) bukan resistivitas sebenarnya dan tergantung dari spasi elektrodanya. Karena tidak homogen maka kenyataan di lapangan bahwa bumi berlapis-lapis, lapisan batuan dan masing-masing perlapisan mempunyai harga resistivitas tertentu.

Keadaan bumi yang berlapis-lapis dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar III.5. Ilustrasi keadaan bumi yang berlapis-lapis

Tiap-tiap medium (lapisan batuan) mempunyai sifat kelistrikan berbeda-beda, tergantung dari 8 faktor yang telah dijelaskan sebelumnya.

III.3. Metode Polarisasi Terimbas (*Induced Polarization*)

Polarisasi terimbas merupakan salah satu metoda geofisika yang mendeteksi terjadinya polarisasi listrik pada permukaan mineral-mineral logam di bawah permukaan bumi.

Pada metoda geolistrik polarisasi terimbas arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua elektroda arus, kemudian beda potensial yang terjadi diukur melalui dua elektroda potensial. Dalam metoda polarisasi terimbas ada 4 macam metoda pengukuran yaitu pengukuran dalam domain waktu, domain frekuensi, pengukuran sudut fasa dan *Magnetic Induced Polarization* (MIP).

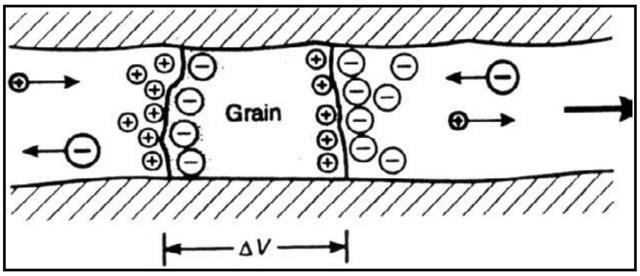
III.3.1. Mineral-Mineral Yang Menimbulkan Gejala IP

Kandungan mineral logam dalam bumi umumnya terbentuk sebagai senyawa-senyawa sulfida. Bijih sulfida ini mempunyai kontras konduktivitas yang besar dibandingkan daerah sekitarnya. Jadi tubuh sulfida merupakan penghantar elektronik sedangkan larutan dalam pori-pori batuan merupakan penghantar ionik. Sistem demikian memungkinkan terjadinya gejala IP jika arus listrik dialirkan ke dalamnya. Gejala IP juga ditimbulkan oleh beberapa oksida dan mineral lempung. Ada dua fenomena yang berkaitan dengan larutan dan bidang antar muka pada eksplorasi geolistrik frekuensi rendah seperti IP yaitu : elektrokimia dan elektrokinetik. Elektrokimia berkaitan dengan reaksi dan perubahan kimia karena arus listrik, sedangkan elektrokinetik berkaitan dengan efek yang terjadi karena adanya variasi mobilitas pembawa muatan.

III.3.2. Polarisasi Elektroda

Overpotensial

Partikel mineral logam yang bersentuhan dengan larutan pori-pori batuan akan mendapat beda potensial terhadap larutannya meskipun tidak ada arus listrik mengalir. Karena perbedaan aktifitas relatif antara partikel mineral dan larutannya, akan terjadi beda potensial yang besarnya bergantung pada aktifitas relatifnya. Beda potensial ini disebut potensial elektroda.



Gambar III.6. *Grain electrode polarization* (*Reynolds*, 1997)

Jika dalam sistem mineral logam dialirkan arus listrik akan terjadi pengutuban muatan pada bidang batas antara mineral logam dengan larutannya. Peristiwa ini disebut polarisasi elektroda. Sedangkan beda potensial pada keadaan reversibel dan tak reversibel (saat dialiri arus) disebut overpotensial.

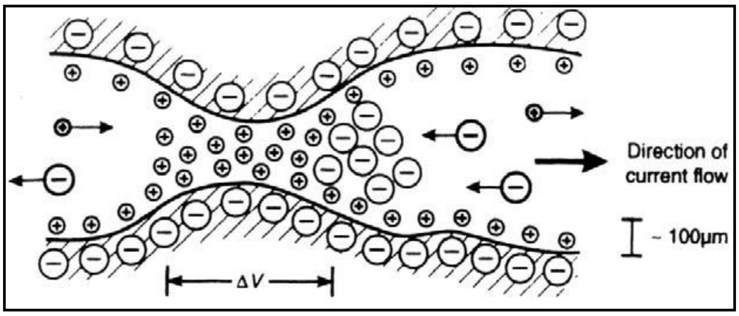
Jika arus listrik dihentikan ion-ion yang terkumpul pada bidang batas akan berdifusi kembali ke keadaan semula. Hal ini teramati sebagai peluruhan tegangan (potensial).

Lapisan Ganda

Selain peristiwa yang berlangsung pada bidang batas antara logam dengan larutannya, gejala IP juga dipengaruhi peristiwa yang terjadi di daerah disekitar bidang batas tersebut. Daerah ini terdiri dari dua bagian, yaitu lapisan tetap dan bidang antar muka elektroda yang keduanya membentuk lapisan ganda. Kedua lapisan ini mempunyai muatan yang berbeda sehingga mempunyai nilai kapasitansi.

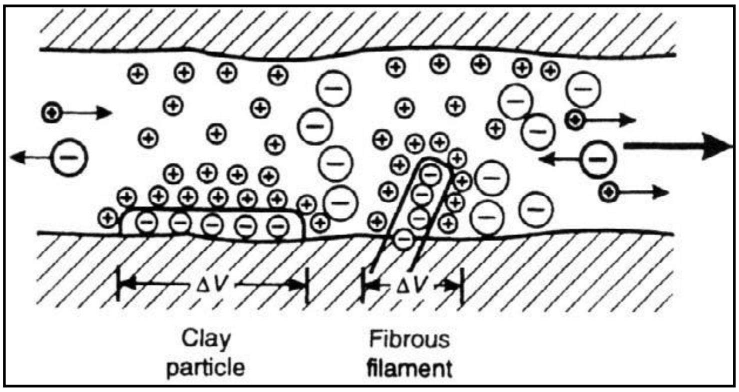
III.3.3. Polarisasi Membran

Gejala latar belakang dalam eksplorasi mineral logam terutama disebabkan mineral-mineral *clay* dalam batuan yang berpori-pori. Umumnya mineral-mineral *clay* dalam batuan bermuatan negatif pada bidang batas antar muka permukaan batuan dan larutan pori. Sehingga ion-ion positif dalam larutan pori terkumpul dekat pada bidang batas sedangkan ion-ion negatif tertolak menjauhi bidang batas.



Gambar III.7. *Membrane polarization associated with constriction between mineral grains* (*Reynolds*, 1997)

Jika ukuran pori kecil (10-16 cm) pori bersifat sebagai kapiler maka ion-ion positif akan memenuhi diameter kapiler sedangkan ion-ion negatif akan terkumpul di ujung kapiler sehiingga terjadi polarisasi muatan pada sistem ini. Jika diberi beda potensial maka ion-ion tersebut akan bergerak sesuai dengan arah medan listrik. Distribusi ion-ion positip dapat melalui awan ion positip yang terdapat didekat mineral *clay* tetapi distribusi ion negatif akan terhambat dan terkumpul pada awan ion positip. Jadi awan ion positip sebagai membran pemilih. Polarisasi yang terjadi karena sifat membran ini disebut polarisasi membran.



Gambar IIII.8. *Membrane polarization associated with negatively charged clay particles* (*Reynolds*, 1997)

III.3.4. Metoda Pengukuran

Pengukuran tanggapan (respon) IP dapat dilakukan dalam :

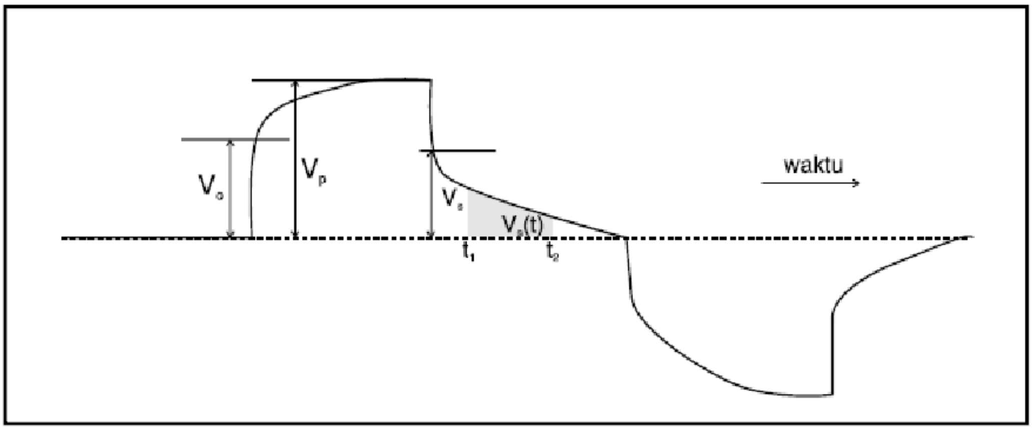
- *Time Domain*
- *Frequency Domain*
- Pengukuran sudut fasa IP.

Ketiganya mengukur gejala fisis yang sama, tetapi dengan parameter pengukuran yang berbeda. Arus yang dikirim ke bumi memberikan energi kepada material yang disimpan dalam beberapa bentuk :

- Energi Mekanik
- Energi Listrik
- Energi Kimia

1. *Time Domain* (kawasan Waktu)

Pengukuran dalam kawasan waktu ini menggunakan arus searah DC. Prinsip pengukuran dalam kawasan waktu adalah dengan mengalirkan arus listrik melalui sepasang elektroda arus dan mengukur beda potensial yang timbul pada sepasang elektroda potensial setelah arus utama dimatikan. Pada saat arus listrik dihentikan, potensial antara dua elektroda pengukur segera turun ke tingkat tanggap sekunder. Potensial sekunder ini kemudian meluruh dengan waktu. Pengukuran dalam domain waktu maksudnya pengamatan peluruhan potensial sekunder (Vs) terhadap waktu.



Gambar III.9. Pengukuran *Time Domain Induced Polarization* (TDIP)

Besaran pengukur derajat terpolarisasi terdiri dari

a. *Milivolt per volt* (*IP Percent*)

Milivolt per volt merupakan besaran pengukur derajat terpolarisasi yang paling sederhana, yaitu mengukur tegangan residual pada waktu tertentu setelah arus diputuskan. Tegangan residual ini sangat kecil sehingga umumnya dinyatakan dalam milivolt, sedangkan tegangan normal dalam volt. Akibatnya,efek IP yang timbul sering dinyatakan dalam *milivolt per volt* (mV/V) ataupun sering juga dinyatakan dalam %.

$$IP(\%) = \frac{V_S(t_1)}{V_P} \times 100\% \tag{III.22}$$

b. *Chargeability*

Chargeability merupakan besaran makro yang tergantung pada jenis bahan dan selang waktu pengukuran. Untuk menghitung nilai *chargebility* dilakukan perbandingan

nilai Vp dan nilai rata-rata Vs yang diperoleh dengan mengintegralkan nilai Vs terhadap sampel waktu peluruhan yang kita pergunakan. Sampel waktu peluruhan yang digunakan merupakan batas integral dari persamaan tersebut, dimana t1 dan t2 adalah batas-batas integrasi. Integrasi ini dapat diilustrasikan pada gambar II.9 bagian yang diarsir.

$$M = \frac{1}{V_P} \int_{t_1}^{t_2} V_s(t)\,dt \quad \text{msec} \tag{III.23}$$

2. *Frequency Domain*

Untuk mempolarisasikan suatu bahan dengan arus listrik imbas ke suatu tingkat tertentu, dibutuhkan waktu tertentu tergantung jenis bahannya karena frekuensi bergantung terbalik dengan waktu, maka perbedaan tanggap (respon) tegangan pada pemberian arus listrik dengan frekuensi yang berbeda juga mencerminkan sifat polarisasi bahan yang bersangkutan. Prosedur pengukuran dengan mengalirkan arus listrik dengan frekuensi yang berbeda.

III.3.4.1 Efek Frekuensi

Parameter pengukuran didefinisikan besaran *Frequency Effect* (FE)

$$FE = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \tag{III.24}$$

v1 : tanggap tegangan pada frekuensi tinggi

v2 : tanggap tegangan pada frekuensi rendah

Karena arus listrik konstan untuk tiap frekuensi, maka :

$$FE = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} \tag{III.25}$$

atau *Percent Frequency Effect* (PFE), yaitu

$$PFE = \frac{100\,\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} \tag{III.26}$$

III.4.4.2. Faktor Metal

Karena efek IP bervariasi dengan resistivitas semu dari batuan yaitu *elektrolyte*, temperatur, ukuran pori dan lain-lain, maka didefinisikan metal faktor :

$$MF = \frac{10^5\, FE}{(\rho_2/2\pi)} = \frac{10^3\, FE}{(\rho_2/2\pi)} \qquad \text{(III.27)}$$

III.3.4.3. Sudut Fasa IP

Metoda ini mengukur beda sudut fasa antara keluaran sinyal tegangan dengan masukan gelombang arus listrik yang diberikan, dengan asumsi bahwa bentuk gelombang keduanya sinusoidal dengan frekuensi yang sama.

III.4.5. Sumber *Noise* pada pengukuran IP

a. Potensial spontan bumi/*Self potential* (SP)

b. Arus tellurik

c. *Capacitive Coupling* dan *Elektromagnetic Coupling*

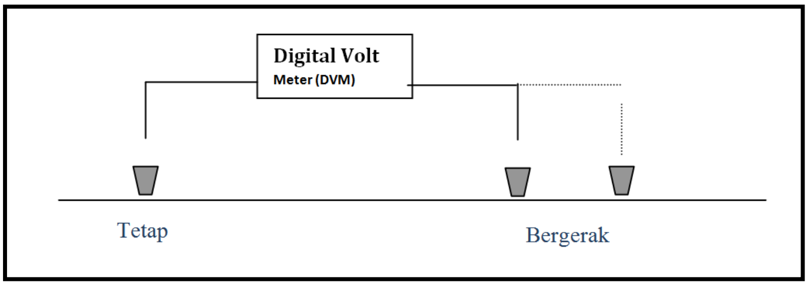
d. *Noise* yang disebabkan oleh elektroda

e. *Noise* yang diakibatkan frekuensi yang berasal dari induksi arus pada kabel pengukuran

f. *Geological noise*

III.4. Metode *Self Potential* (SP)

Metode Potensial Diri atau secara umum disebut dengan metode SP (*Self Potential*) merupakan metode dalam geolistrik yang paling sederhana dilakukan, karena hanya memerlukan alat ukur tegangan (*milliVoltmeter*) yang peka dan dua elektroda khusus (*porous pot electrode*). Metode Potensial Diri merupakan metode yang paling tua diantara metode-metode Geofisika yang lain, yang telah diperkenalkan pada tahun 1830 di Inggris oleh Robert Fox. Metode Potensial Diri merupakan metode pasif dalam bidang geofisika, karena untuk mendapatkan informasi bawah tanah, melalui pengukuran yang tanpa menginjeksikan arus listrik lewat permukaan tanah.



Gambar III.10. Konfigurasi pengukuran Potensial Diri

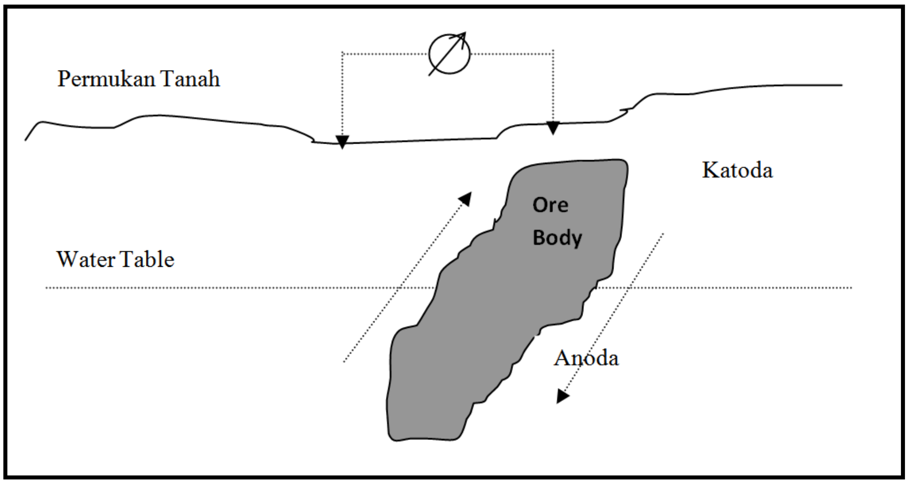
Elektroda porous pot digunakan didalam pengukuran potensial diri medium tanah dari di permukaan. Elektroda tersebut terdiri dari kawat tembaga yang dimasukkan dalam tabung keramik dengan dinding berpori, diisi dengan larutan *Copper Sulphate* ($CuSO_4$). Mengapa dalam metode SP digunakan elektroda porous pot untuk menghindari adanya efek polarisasi. Potensial diri dapat terjadi karena adanya proses elektrokimia dibawah permukaan tanah yang disebabkan oleh kandungan mineral tertentu.

Didalam pengukuran potensial diri, gangguan yang terjadi secara alami tidak dapat dihindarkan, misalnya adanya arus *telluric*. Oleh karena itu, untuk mengetahui saat pengukuran potensial diri ada gangguan *telluric* atau tidak, maka potensial yang terjadi karena arus *telluric* perlu diukur, dan kemudian digunakan untuk melakukan koreksi terhadap data pengukuran potensial diri (SP).

Sedang saat dilakukan pengukuran potensial diri, hindarkan dari hal-hal yang dapat mengganggu karena dilakukan oleh manusia, misalnya jangan melakukan pengukuran potensial diri bersamaan dengan survei *resistivity*, yang harus

menginjeksikan arus listrik kedalam tanah. Karena injeksi arus listrik tersebut akan mengganggu potensial diri yang terjadi secara alami.

Sato dan Mooney (1960) membuat hipotesa bahwa potensial mineralisasi dapat timbul jika kondisi lingkungan didukung oleh adanya proses elektrokimia sehingga dapat menimbulkan potensial elektrokimia yang terjadi dibawah permukaan tanah, seperti dijelaskan pada gambar III.11. Pada gambar III.11, dibawah permukaan tanah terdapat *ore body* yang mengandung mineral sulfida, yang sebagian masuk atau terbenam dibawah muka air tanah (*Water Table*), sehingga menyebabkan proses elektrokimia. Apabila muka air tanah berada diatas atau dibawah *ore body*, maka tidak akan terjadi proses elektrokimia, sehingga tidak menimbulkan potensial diri.



Gambar III.11. Syarat terjadi potensial diri (*Self Potential*)

Karena proses elektrokimia tersebut, bagian atas dari *ore body* (tubuh sulfida) akan mengalami proses reduksi. Sedang bagian bawah dari *ore body* yang terbenam dibawah permukaan air tanah akan mengalami proses oksidasi. Karena proses tersebut, maka *ore body* terbentuk seperti "*Cell*". Bagian dalam dari ore body berfungsi sebagai jalur transport elektron dari anoda ke katoda.

Meskipun demikian, potensial diri yang terjadi di alam yang dapat diukur dari permukaan tanah dapat ditimbulkan oleh beberapa hal, antara lain :

1. Adanya perbedaan konsentrasi ion pada medium, atau perlapisan tanah. Misalnya antara lapisan pasir dan lempung, atau antara medium yang mengandung air tawar dan air asin.

2. Adanya aliran zat cair (air tanah) dalam perlapisan tanah. Air dalam tanah banyak mengandung ion, aliran ion tersebut yang menyebabkan timbulnya potensial di permukaan tanah. Potensial yang timbul ini disebut dengan "Streaming Potential" atau "*Electrokinetic Potential*".
3. Adanya proses elektrokimia di dalam medium yang banyak mengandung mineral (senyawa sulfida). Potensial ini disebut dengan potensial mineralisasi.

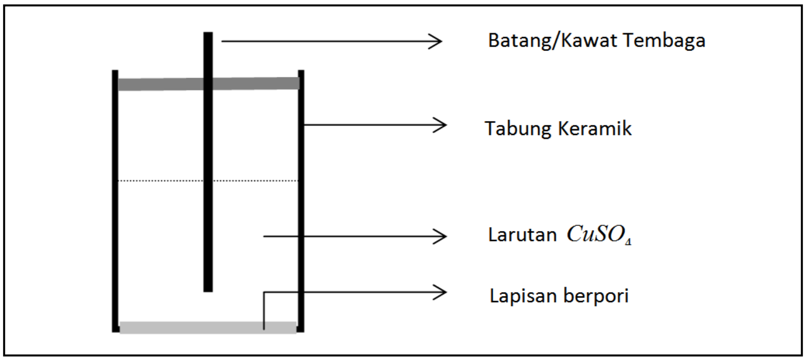
III.4.1. Pengukuran Potensial Diri

Untuk melakukan pengukuran potensial diri di lapangan, perlu dilakukan tahap-tahap persiapan sebagai berikut :

1. Menyiapkan alat ukur potensial DVM (Digital Voltmeter), Eletroda Porous Pot 4 buah, larutan Copper Sulphate, roll meter, roll kabel dan tabel pencatat data, serta alat alat komunikasi jika perlu.
2. Merancang luasan yang akan disurvei dari overlay peta topografi dan peta geologi daerah survei, kemudian tentukan titik referensi untuk penempatan salah satu elektroda yang menetap. Tentukan lintasan-lintasan pengukuran didalam luasan survei (Survey Design), yang nantinya akan digunakan untuk acuhan pembagian kelompok pengukuran.
3. Kalibrasi terlebih dahulu masing-masing pasang elektroda porous pot.

Cara mengkalibrasi Elektroda porous pot

Elektroda porous pot terdiri dari batang/kawat tembaga dan tabung keramik dengan bagian bawah berpori, diisi dengan larutan Copper Sulphate ($CuSO_4$), seperti terlihat pada gambar dibawah :



Gambar VII.3. Sketsa Elektroda porous pot

Untuk mengkalibrasi elektroda porous pot yang telah diisi dengan larutan Copper Sulphate pada konsentrasi yang sama, masukkan/celupkan satu pasang elektroda porous pot kedalam medium dengan jarak yang dekat (sekitar 10 cm). Pada kondisi tersebut, ukur potensial dengan DVM (Digital Volt Meter), dimana penunjukan harus lebih kecil atau sama dengan 2 millivolt. Apabila penunjukan ternyata lebih besar dari 2 millivolt, maka kedua elektroda porous pot tersebut harus dibersihkan terlebih dahulu, kemudian diisi kembali dengan larutan Copper Sulphate yang mempunyai konsentrasi yang sama.

III.5. Metode *Mise A La Masse*

Metoda Mise-ALa-Masse merupakan salah satu metoda geolistrik yang dapat dipergunakan untuk memetakan variasi tahanan jenis secara lateral. Metoda ini biasanya dipakai untuk mencari endapan gravel (kerakal), endapan pasir, endapan bijih, tubuh mineral sulfida (*ore body*), dan penerapan lain di bidang geoteknik, arkelogi.

Tujuan penggunaan metoda Mise-A-La-Masse adalah untuk melakukan pemetaan variasi hambatan jenis kearah lateral sehingga dapat diketaui distribusi daerah prospek geologi.

Pada medium semi-takhingga maka arus yang mengalir menembus medium setengah bola adalah $I = 2\pi r^2 J$ sehingga besarnya potensial listrik adalah

$$V(r) = \frac{I\rho}{2\pi}\frac{1}{r} \tag{III.28}$$

medium homogen isotrop pada servei geolistrik.

$$V_{P_1} = \frac{I\rho_a}{2\pi}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_3}\right) \tag{III.29}$$

dan $$V_{P_2} = \frac{I\rho_a}{2\pi}\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_4}\right) \tag{III.30}$$

untuk harga $r_3 >> r_1$ dan $r_4 >> r_2$ maka persamaan (II.29) dan (II.30) menjadi,

$$V_{P_1} = \frac{I\rho_a}{2\pi}\left(\frac{1}{r_1}\right) \tag{III.31}$$

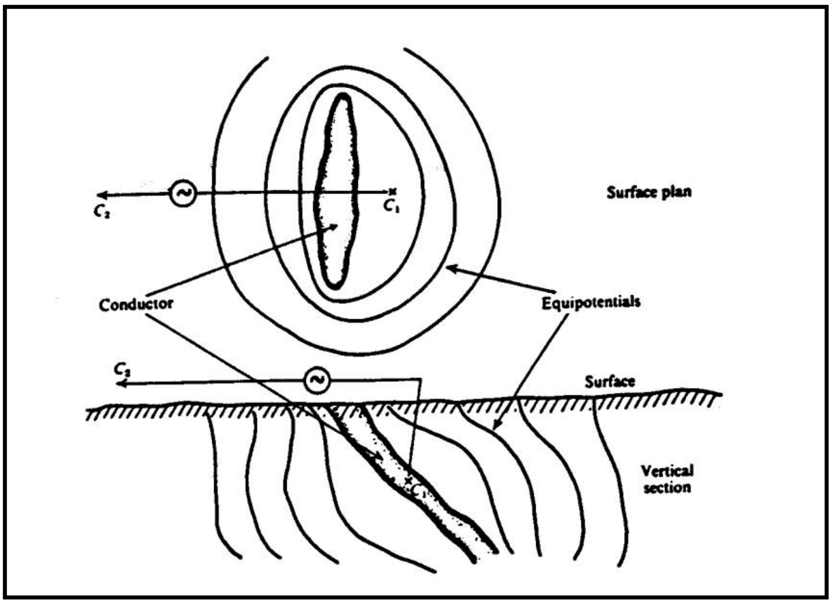
dan besarnya potensial di titik P_1 dan P_2 adalah

$$V_{P_2} = \frac{I\rho_a}{2\pi}\left(\frac{1}{r_2}\right) \quad \text{(III.32)}$$

dan besarnya beda potensial antara titik P_1 dan P_2 adalah,

$$V_{P_1} - V_{P_2} = \frac{I\rho_a}{2\pi}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \text{(III.33)}$$

Atau $$\rho_a = 2\pi\frac{V_{P_1} - V_{P_2}}{I}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)^{-1} \quad \text{(III.34)}$$



Gambar III.12. Sketsa pengukuran metoda Mise-A-La-Masse.

Prinsip metdoda Mise-A-La-Masse yaitu salah satu elektroda arus C_1 dipasang langsung menyentuh batuan yang bersifat konduktor atau tubuh mineral yang bersifat konduktor (pada singkapan batuan yang mengandung mineral atau melalui lubang bor), sedangkan elektroda arus lainnya C_2 terletak diluar daerah penyelidikan atau daerah yang sudah tidak terpengaruh adanya efek potensial yang ditimbulkan oleh konduktor. Persamaan (II.28) adalah persamaan yang dipergunakan untuk melakukan pengukuran metoda Mise-A-La-Masse. Gambar. II.12 adalah sususnan elektroda Mise-A-La-Masse.

BAB IV
KONFIGURASI

IV.1. Konfigurasi Wenner

Konfigurasi Wenner ini adalah konfigurasi yang dikembangkan oleh seseorang berkebangsaan Amerika bernama Wenner. Untuk kompensasi kelemahan pada sumber pembangkit arus yang kuat karena elektroda arus jauh dari potensial, maka jarak antara elektroda potensial dibuat lebih pendek dan sama jaraknya.

Konfigurasi wenner biasanya digunakan untuk *Horizontal Profiling* (*Mapping*) dengan hasil akhir hanya diperoleh profil secara *horizontal* (mendatar). Metode *resistivity* konfigurasi wenner ini dibagi menjadi beberapa konfigurasi yaitu wenner alpha, wenner beta dan wenner gamma. Dimana masing-masing memiliki susunan elektroda yang berbeda, dan juga masing-masing konfigurasi dari wenner memiliki ciri khusus dalam memetakan kondisi *subsurface* berdasarkan nilai *resistivity*.

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi}\left(\frac{1}{r}\right) \quad \text{(IV.1)}$$

$$\rho = 2\pi r\left(\frac{\Delta V}{I}\right) \quad \text{(IV.2)}$$

$$k = 2\pi r \quad \text{(IV.3)}$$

Dimana :

I = arus listrik (mA) pada *transmitter*

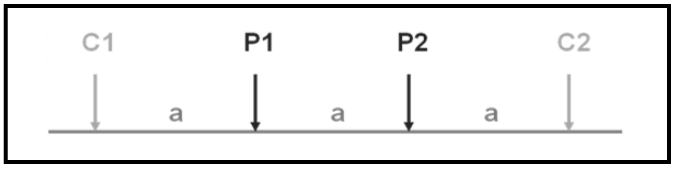
ΔV = beda potensial (mV) pada *receiver*

ρ = resistivitas semu

k = faktor geometris

r = jarak antar elektroda

IV.1.1 Konfigurasi Wenner Alpha



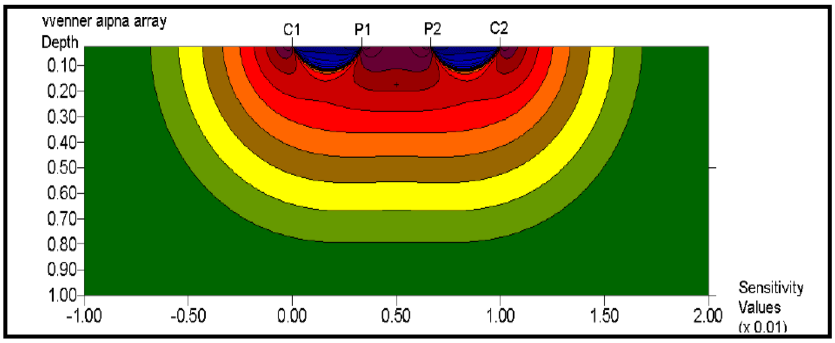
Gambar IV.1. Rangkaian elektroda konfigurasi wenner alpha

$k = 2\pi$ a (IV.4)

Dimana : k = faktor geometri

π = konstanta phi

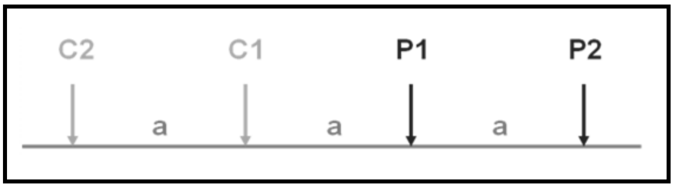
a = Jarak antar lektroda



Gambar IV.2. Bagian Sensitivitas 2-D untuk konfigurasi wenner alpha

Konfigurasi wenner alpha disebut juga wenner normal dengan susunan elektroda seperti dalam susunan konfigurasi schlumberger. Pada konfigurasi ini, keempat buah elektrodanya terletak dalam satu garis dan simetris terhadap titik tengah. Jarak P1 dan P2 pada konfigurasi Wenner alpha selalu sepertiga (1/3) dari jarak C1 dan C2. Bila jarak C1 dan C2 diperlebar, maka jarak P1 dan P2 juga harus diubah sehingga jarak P1 dan P2 tetap sepertiga jarak C1 dan C2. Keunggulan dari konfigurasi Wenner ini adalah ketelitian pembacaan tegangan pada elektroda P1 dan P2 lebih baik dengan angka yang relatif besar karena elektroda P1 dan P2 yang relatif dekat dengan elektroda C1 dan C2. Disini bisa digunakan alat ukur multimeter dengan impedansi yang relatif lebih kecil.

IV.1.2. Konfigurasi Wenner Beta



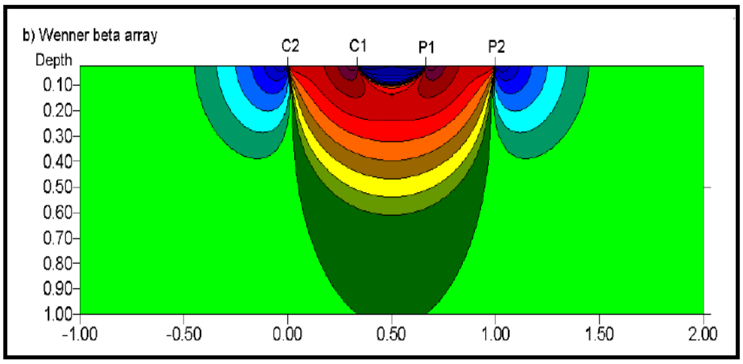
Gambar IV.3. Rangkaian elektroda konfigurasi wenner beta

$$k = 6\pi a \tag{IV.5}$$

Dimana : k = faktor geometri

π = konstanta phi

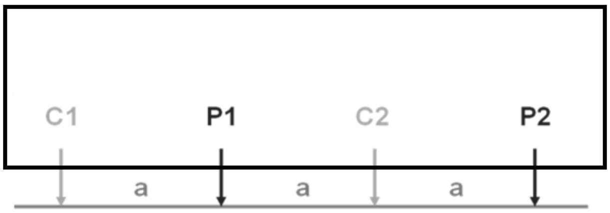
a = Jarak antar elektroda



Gambar IV.4. Bagian Sensitivitas 2-D untuk konfigurasi wenner beta

Untuk konfigurasi wenner beta memiliki susunan elektroda seperti dengan konfigurasi dipole-dipole, namun yang membedakan disini adalah faktor n. Dalam wenner beta faktor n yaitu 0.416, karena jarak antara elektroda dibuat sama.

IV.1.3. Konfigurasi Wenner Gamma



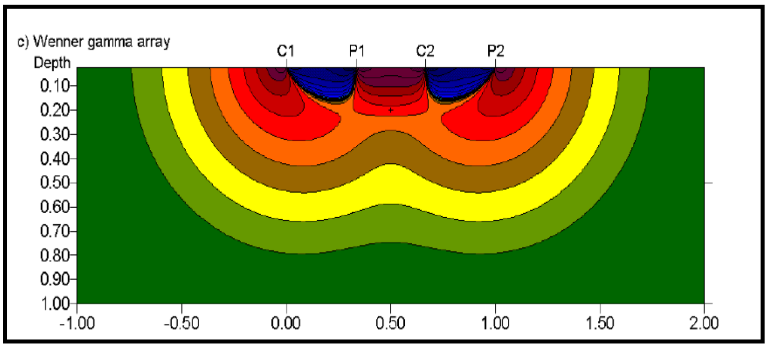
Gambar IV.5. Rangkaian elektroda konfigurasi wenner gamma

$$k = 3\pi a \qquad \text{(IV.6)}$$

Dimana : k = faktor geometri

π = konstanta phi

a = Jarak antar lektroda

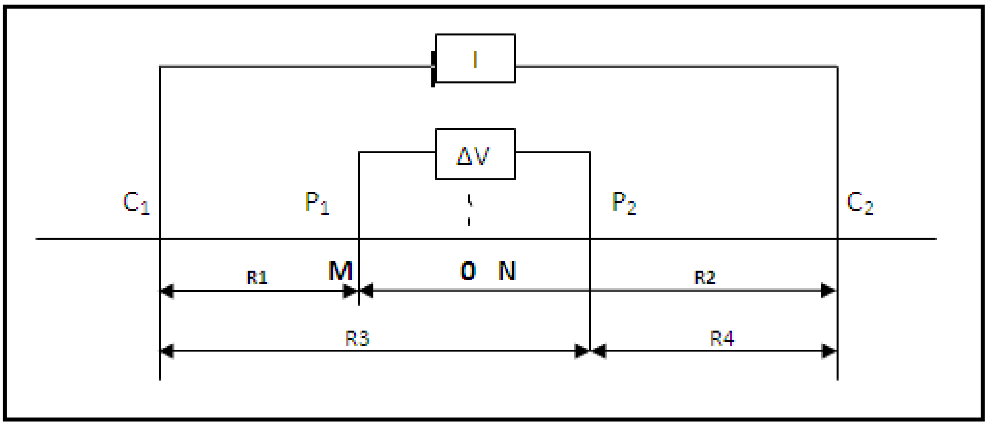


Gambar IV.6. Bagian Sensitivitas 2-D untuk konfigurasi wenner gamma

Sedangkan konfigurasi wenner gamma memiliki pengaturan yang relatif tidak biasa dimana elektroda arus dan elektroda potensial disisipkan. Bagian sensitivitas yang menunjukkan bahwa daerah-daerah terdalam dipetakan oleh konfigurasi ini adalah di bawah dua elektroda luar (C1 dan P2), dan bukan di bawah pusat konfigurasi.

IV.2. Konfigurasi Schlumberger

Prinsip konfigurasi Schlumberger idealnya jarak MN dibuat sekecil-kecilnya, sehingga jarak MN secara teoritis tidak berubah. Tetapi karena keterbatasan kepekaan alat ukur, maka ketika jarak AB sudah relative besar maka jarak MN hendaknya dirubah. Dimana perubahannya itu tidak lebih besar dari 1/5 jarak AB seperti pada gambar III.7.



Gambar IV.7. Rangkaian elektroda Konfigurasi Schlumberger

Keterangan : R1 = R4

Kelemahan dari konfigurasi Schlumberger adalah pembacaan tegangan pada elektroda MN adalah lebih kecil terutama ketika jarak AB yang relative jauh, sehingga diperlukan alat ukur multimeter yang mempunyai karakteristik *High Impedance* dengan mengatur tegangan minimal 4 digit atau 2 digit dibelakang koma, atau dengan cara peralatan arus yang memepunyai tegangan listrik DC yang sangat tinggi.

Keunggulan konfigurasi schlumberger adalah kemampuan untuk mendeteksi adanya sifat tidak homogen lapisan batuan pada permukaan yaitu membandingkan nilai resistivitas semu ketika terjadi perubahan jarak elektroda MN/2 (Anonim, 2007a)

Parameter yang diukur yaitu : jarak antar stasiun dengan elektroda- elektroda (AB/2 dan MN/2), arus (I), dan beda potensial (ΔV). Parameter yang dihitung yaitu : tahanan jenis(R) dan factor Geometri (k).(Asisten Geofisika, 2006). Factor geometri (k) dapat dicari dengan rumus :

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{C1P1} - \frac{1}{C2P1} - \frac{1}{C1P2} + \frac{1}{C2P2}}$$

(IV.7)

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{b - \frac{a}{2}} - \frac{1}{b + \frac{a}{2}} - \frac{1}{b + \frac{a}{2}} + \frac{1}{b - \frac{a}{2}}}$$

(IV.8)

$$K = \pi\left[\frac{b2}{a} - \frac{a}{4}\right]$$

(IV.9)

$$\rho a = K.R$$

(IV.10)

Secara umum faktor geometri untuk konfigurasi Schlumberger adalah sebagai berikut :

$$k = \pi \frac{AB^2 - MN^2}{4MN}$$

(IV.11)

Dimana :

ϱ	: Resistivitas Semu
0	: Titik yang diukur secara *sounding*
AB	: Spasi Elektroda Arus (m)
MN	: Spasi Elektroda Potensial (m), dengan syarat bahwa MN < 1/5 AB (menurut Schlumberger)
k	: Faktor Geometri

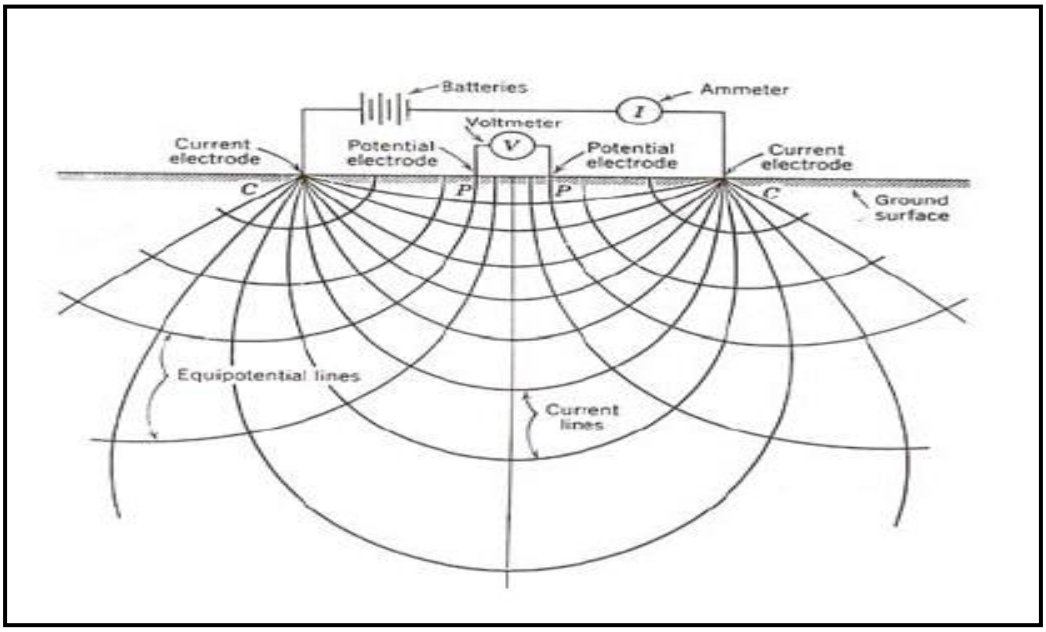
Berdasarkan Sunaryo, dkk (2003) resistivitas semu (ϱa) pada pengukuran resistivitas secara umum adalah dengan cara menginjeksikan arus kedalam tanah melalui 2 elektroda arus (C1 dan C2). Dan mengukur hasil beda potensial yang ditimbulkannya pada 2 elektroda potensial (P1 dan P2). Dari data harga arus (I) dan beda potensial (V), dapat dihitung nilai resistivitas semu (ϱa) sebagai berikut :

$$\rho a = K \frac{\bar{V}}{I}$$

(IV.12)

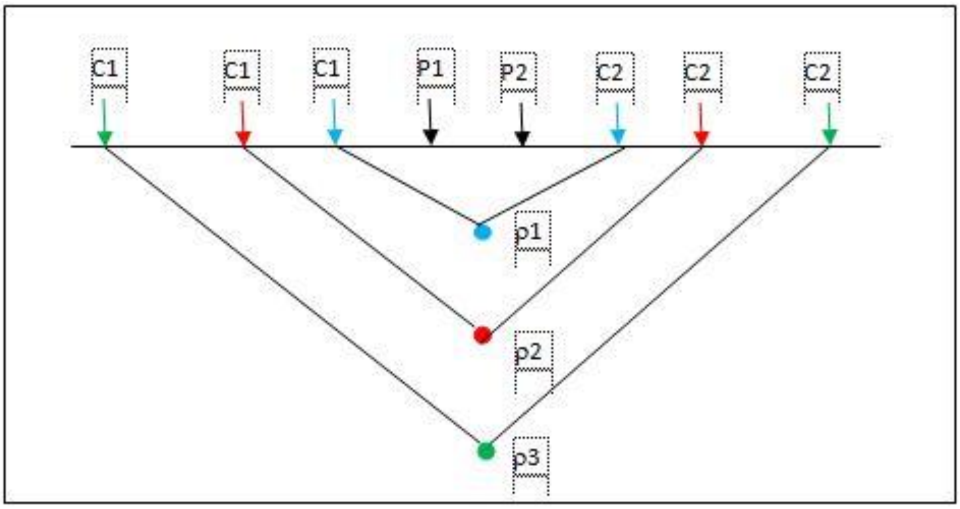
Resistivitas ditentukan dari suatu tahanan jenis semu yang dihitung dari pengukuran perbedaan potensi antar elektroda yang ditempatkan dibawah

permukaan. Pengukuran suatu beda potensial antara dua elektroda seperti pada gambar dibawah ini sebagai hasil dua elektroda lain pada titik C yaitu tahanan jenis dibawah permukaan tanah dibawah elektroda (*Todd.D.K.*1959).



Gambar IV.8. Siklus Elektrik Determinasi Resistivitas dan Lapangan Elektrik Untuk Stratum Homogeneus permukaan bawah tanah. (*Todd, D.K*, 1959).

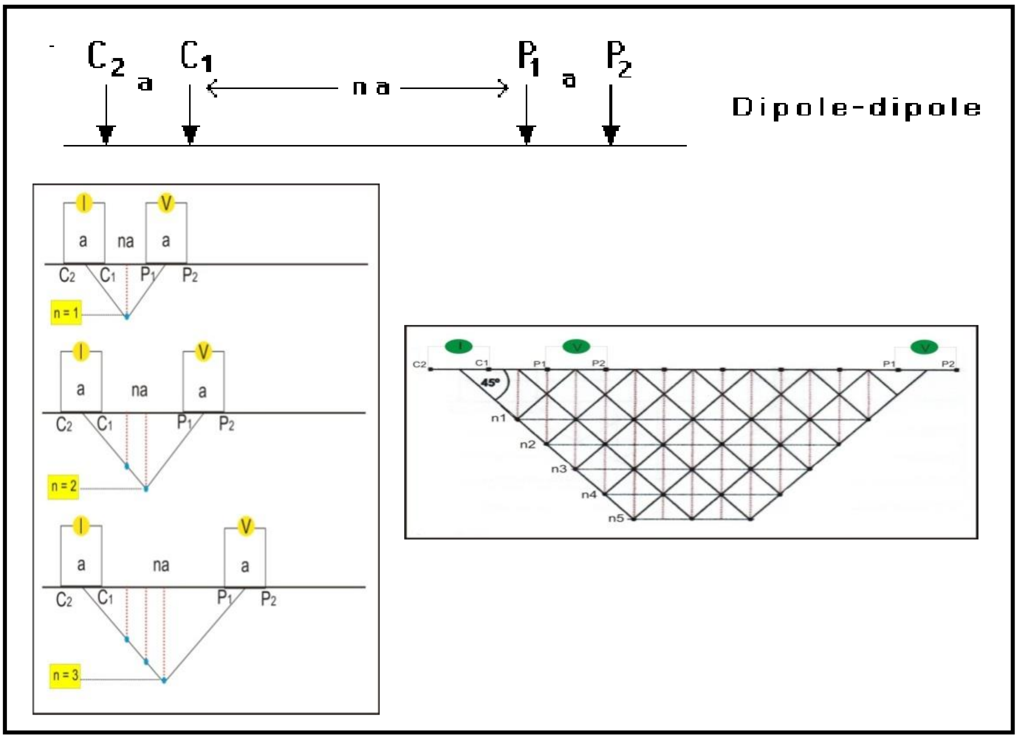
Titik pengukuran konfigurasi Schlumberger dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar IV.9. Titik sounding konfigurasi Schlumberger

IV.3. Konfigurasi Dipole-Dipole

Pada prinsipnya konfigurasi dipole-dipole menggunakan 4 buah elektroda, yaitu pasangan elektroda arus yang disebut 'current dipole AB' dan pasangan elektroda potensial yang disebut 'potential dipole MN'. Pada konfigurasi dipole-dipole, elektroda arus dan elektroda potensial bisa terletak tidak segaris dan tidak simetris.

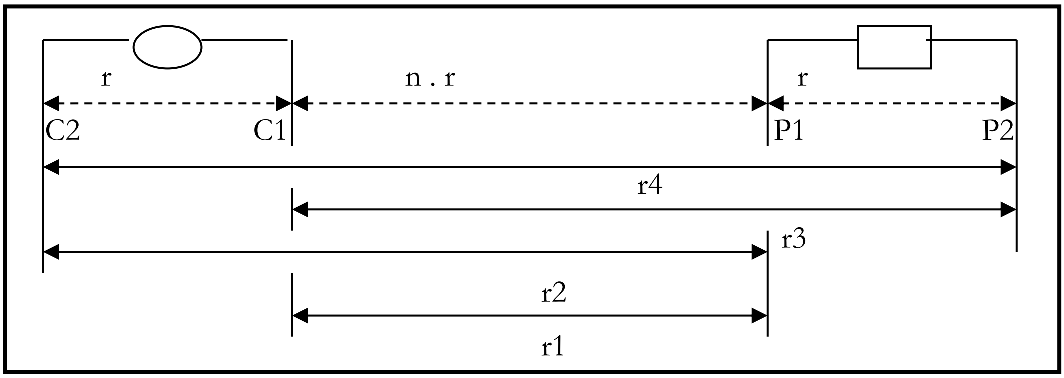


Gambar IV.11. Konfigurasi dipole - dipole

Untuk menambah kedalaman penetrasi maka jarak '*current dipole*' dan 'potential dipole' diperpanjang, sedangkan jarak elektroda arus dan elektroda potensial dibuat tetap. Hal ini merupakan keunggulan konfigurasi dipole-dipole dibandingkan dengan konfigurasi wenner atau schlumberger. Karena tanpa memperpanjang kabel bisa mendeteksi batuan yang lebih dalam. Dalam hal ini diperlukan alat pengukur tegangan yang *'high impedance'* dan '*high accuracy*'. Ada alat dengan merk tertentu yang bisa menggunakan multi '*potenTial electrode*' dan dapat menampilkan hasilnya langsung pada layar monitor. Dalam hal ini yang tergambar adalah *'apparent resistivity'* dan bukan *'true resistivity'* serta mengabaikan persyaratan pengukuran geolistrik yaitu homogenitas batuan, karena dalam konfigurasi dipole-dipole tidak ada fasilitas untuk membuat batuan yang tidak homogen menjadi seakan-

akan homogen. Sedangkan pada konfigurasi schlumberger bisa dibuat data yang diperoleh dari batuan yang tidak homogen menjadi seakan-akan homogen.

Konfigurasi dipole-dipole lebih banyak digunakan dalam eksplorasi mineral-mineral sulfida dan bahan-bahan tambang dengan kedalaman yang relatif dangkal. Hasil akhir dipole-dipole berupa penampang, baik secara *horizontal* maupun secara vertikal.



Gambar IV.12. Rangkaian elekrode konfigurasi Dipole-dipole

Ket :

r1 = C1 sampai P1

r2 = C2 sampai P1

r3 = C1 sampai P2

r4 = C2 sampai P2

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi}\left\{\left(\frac{1}{r1}-\frac{1}{r2}\right)-\left(\frac{1}{r3}-\frac{1}{r4}\right)\right\} \quad \text{(IV.13)}$$

$$\rho = \pi(2+n)(1+n)n.r\left(\frac{\Delta V}{I}\right) \quad \text{(IV.14)}$$

$$k = \pi(2+n)(1+n)n.r \quad \text{(IV.15)}$$

Dimana :

I = arus listrik (mA) pada *transmitter*

ΔV = beda potensial (mV) pada *receiver*

ρ = resistivitas semu

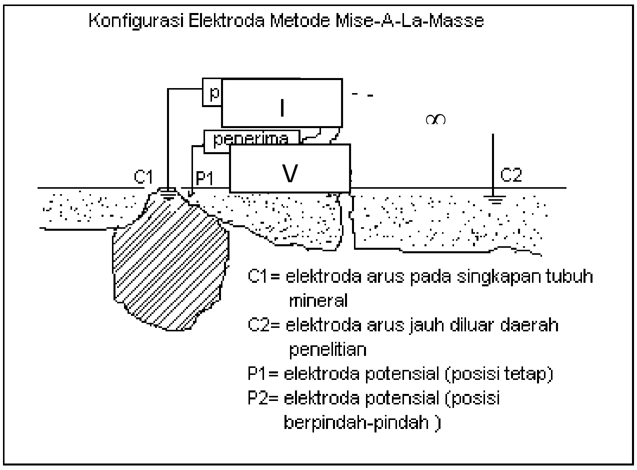
k = faktor geometris

r = jarak elektrode

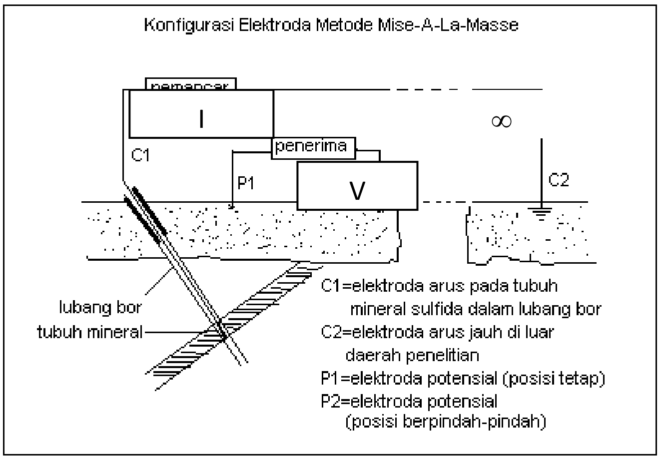
n = bilangan pengali

IV.4. Konfigurasi Mise A La Masse

Elektroda arus C_1 dipasang langsung menyentuh tubuh batuan yang bersifat konduktor atau tubuh mineral sulfida, dan elektroda C_2 dipasang di daerah yang lokasinya jauh dari daerah lokasi penelitian. Gambar III.12 adalah sketsa pemasangan elektroda arus pada metoda Misse-A-La-Masse. Jika areal survei dalam orde 1×1 km^2 maka elektroda C_2 dipasang kira-kira 2.5 km s/d 3.0 km dari titik C_1. Dilakukan penempatan elektroda C_2 di tempat yang jauh adalah untuk mengurangi kesalahan yang disebabkan oleh pengaruh medan kutub ganda.



Gambar IV.13. Konfigurasi elektroda dalam pengukuran Mise-A-La-Masse dimana salah satu elektroda arus ditancapkan pada singkapan tubuh mineral, sedangkan elektroda lainnya berada pada jarak yang relatif jauh tak berhingga



Gambar IV.14. Konfigurasi elektroda pada pengukuran Mise-A-La-Masse dimana salah satu elektroda arus berada dalam lubang bor menancap pada tubuh mineral.

Kedua elektroda arus C_1 dan C_2. Pengukuran potensial dilakukan dengan cara elektroda P_1 pada pusat elektroda C_1 dan P_2 di letakan pada lokasi titik pengukuran potensial listrik. Jarak antara P_1C_1 adalah 1.0 meter.

IV.5. Konfigurasi Pole-Pole

Metode Geolistrik Konfigurasi pole-pole merupakan salah satu geolistrik aktif yaitu metode yang dengan menginjeksikan listik ke dalam bumi. Konfigurasi pole-pole merupakan konfigurasi elektrode elementer dimana terdapat satu titik sumber arus dan satu titik ukur potensial. Untuk itu salah satu elektrode arus (C2) dan elektroda potensial (P2) ditempatkan di tempat yang cukup jauh relatif terhadap C1 dan P1 sehingga pengaruhnya dapat diabaikan.

Konfigurasi ini terutama digunakan dalam survei di mana spasi elektroda relatif kecil (kurang dari beberapa meter) digunakan. Hal ini banyak dilakukan di beberapa aplikasi seperti survei arkeologis di mana spasi elektroda kecil digunakan. Ini juga telah digunakan untuk survei 3-D. Konfigurasi ini merupakan salah satu standar dalam *electrical well logging*.

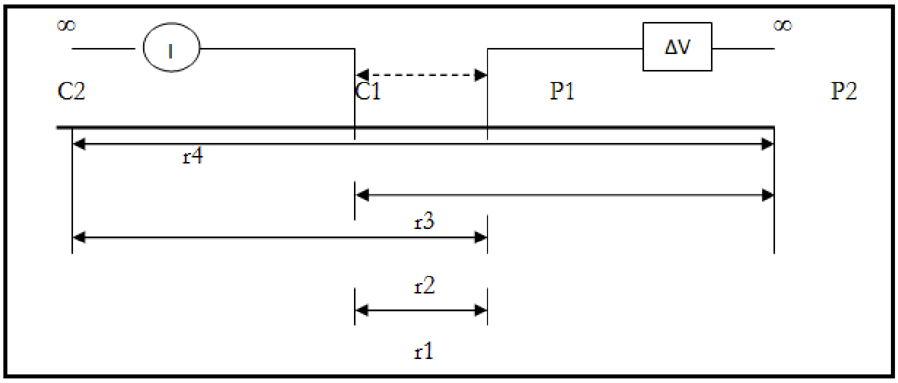
Untuk memperoleh informasi mengenai resistivitas pada kedalaman yang berbeda maka pengukuran dilakukan dengan memvariasikan jarak antar elektroda (α). Keuntungan konfigurasi pole-pole adalah operasi lapangan yang lebih mudah, yaitu hanya perlu memindahkan elektroda C1 dan P1 saja.

Namun, konfigurasi pole-pole dalam praktek idealnya, dengan hanya satu elektrode arus dan satu elektrode potensial, tidak ada. Menurut Li dan Oldenburg, untuk mendekati konfigurasi pole-pole, elektroda arus dan potensial kedua harus ditempatkan pada jarak yang lebih dari 20 kali pemisahan maksimum antara elektroda P1 dan C1 yang digunakan dalam survei. Pengaruh dari elektroda C2 (dan dengan cara yang sama untuk P2) adalah sebanding dengan rasio jarak elektroda C1 dan P1. Jika pengaruh elektroda C2 dan P2 tidak diperhitungkan, jarak elektroda ini dari garis survey harus minimal 20 kali jarak terbesar C1-P1 untuk memastikan bahwa kesalahan kurang dari 5%.

Dalam survei di mana jarak antar-elektroda sepanjang garis survei lebih dari beberapa meter, mungkin ada masalah praktis dalam menemukan lokasi yang cocok untuk elektroda C2 dan P2 untuk memenuhi persyaratan ini. Kelemahan lain dari konfigurasi ini adalah bahwa karena jarak yang besar antara elektroda P1 dan P2, itu

bisa mengambil sejumlah besar *noise telluric* yang sangat dapat menurunkan kualitas pengukuran.

Hasil akhir konfigurasi pole-pole berupa profil baik secara horizontal maupun secara vertikal. Karena posisi C2 dan P2 lebih jauh dari posisi C1 dan P1, konfigurasi ini memiliki cakupan horizontal terluas dan kedalaman terdalam dari penyelidikan tetapi memiliki resolusi yang paling rendah. Berikut susunan konfigurasi pole-pole :



Gambar IV.15. Susunan elektroda konfigurasi Pole-Pole

Keterangan :

r1= C1 sampai P1   r3= C1 sampai P2

r2= C2 sampai P1   r4= C2 sampai P2

Rumus-rumus :

$$K = 2\pi\alpha \qquad \text{(IV.16)}$$

$$\varrho = K\frac{\Delta V}{I} = 2\pi\alpha\frac{\Delta V}{I} \qquad \text{(IV.17)}$$

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi\alpha} \qquad \text{(IV.18)}$$

Dimana

I = arus listrik (mA) pada transmitter

ΔV = beda potensial (mV) pada receiver

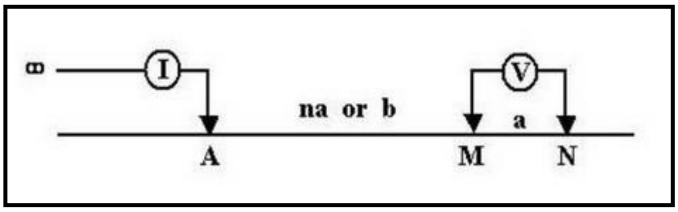
ϱ = resistivity semu

K = faktor geometri

α = jarak elektoda

IV.6. Konfigurasi Pole-Dipole

Konfigurasi Pole-Dipole terdiri dari 4 elektroda. Salah satu elektroda arus (*source*) ditanam pada jarak yang tak terhingga, dimana jarak yang dipakai adalah 5 hingga 10 kali dari kedalaman target pengukuran. Sedangkan elektroda arus yang lain ditanam disekitar dua buah elektroda potensial (*receiver*). Geometri ini digunakan untuk mengurangi distorsi dari equipotensial di permukaan.



Gambar IV.16. Susunan elektroda konfigurasi Pole-Dipole

$$\rho_A = 2\pi \frac{b\,(a+b)}{a}\frac{V}{I} \quad \text{(IV.19)}$$

Dimana :

ρa = resistivitas semu

b = jarak elektroda C1 ke P1

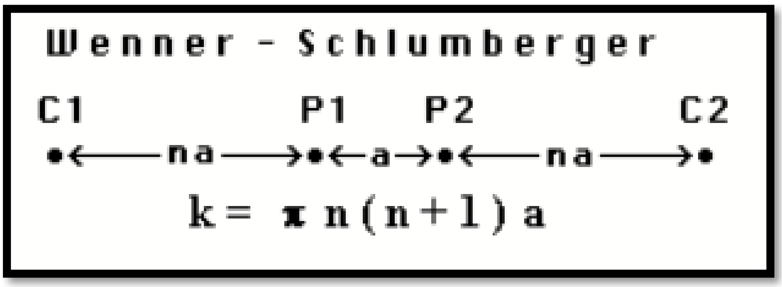
a = jarak elektroda P1 ke P2

π = konstanta phi

V = potensial

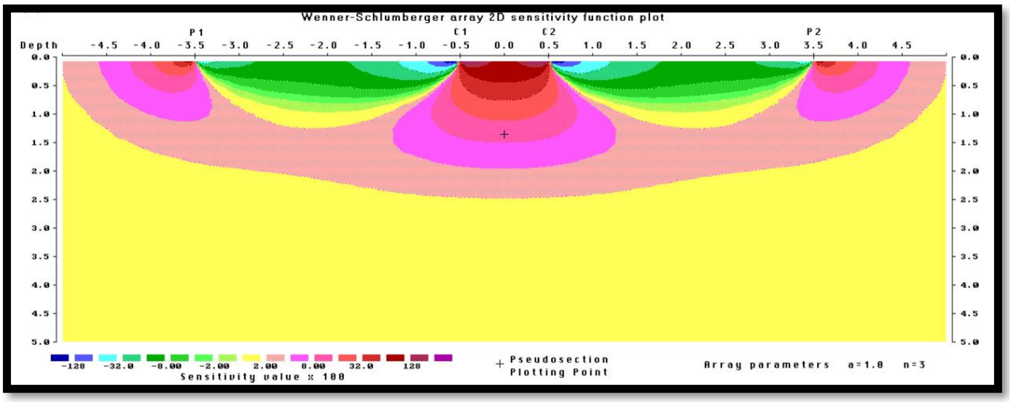
I = arus

IV.7. Konfigurasi Wenner-Schlumberger



Gambar IV.17. Susunan elektroda konfigurasi Wenner-Schlumberger

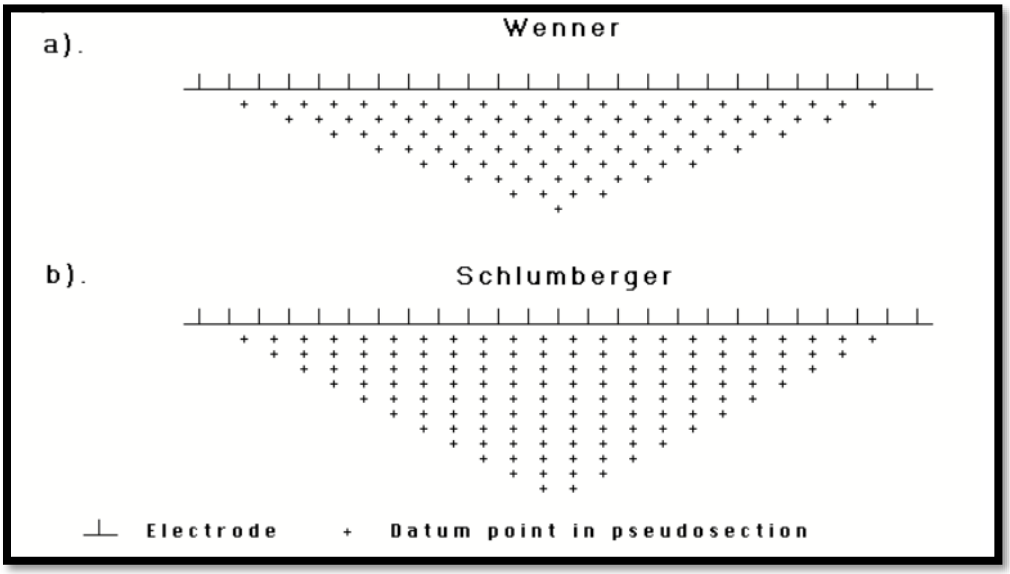
Konfigurasi ini adalah penggabungan antara konfigurasi wenner dan Schlumberger (Pazdirek and Blaha 1996) yang muncul dari pekerjaan yang relative baru dalam survey pencitraan listrik. Konfigurasi Schlumberger klasik dalah konfigurasi yang paling umum dipakai untuk survey resistivity sounding. Pendigitalan dari konfigurasi ini sehingga dapat digunakan dalam system dengan elektroda diatur dengan jarak yang tetap. faktor "n" dari konfigurasi ini adalah rasio dari jarak antara elektroda C1-P1 (atau P2-C2) dengan spasi antara P1-P2. Perhatikan bahwa pada konfigurasi wenner nilai "n" adalah 1 (Dr M.H Locke, 2014).



Gambar IV.18. Bagian Sensitivitas 2-D untuk konfigurasi wenner gamma

Gambar IV.6 menunjukkan pola sensitivitas dari konfigurasi wenner-schlumberger meningkat dari 1 (konfigurasi wenner) sampai 6 (Konfigurasi schlumberger). Area dari nilai sensitivitas positif yang tinggi berada di bawah pusat dari konfigurasi menjadi lebih terkonsentrasi di bawah elektroda P1-P2 ketika nilai "n" meningkat. Di dekat lokasi titik perencanaan di kedalaman tengah area investigasi, kontur sensitive agak sedikit vertical dibawah pusat dari konfigurasi.

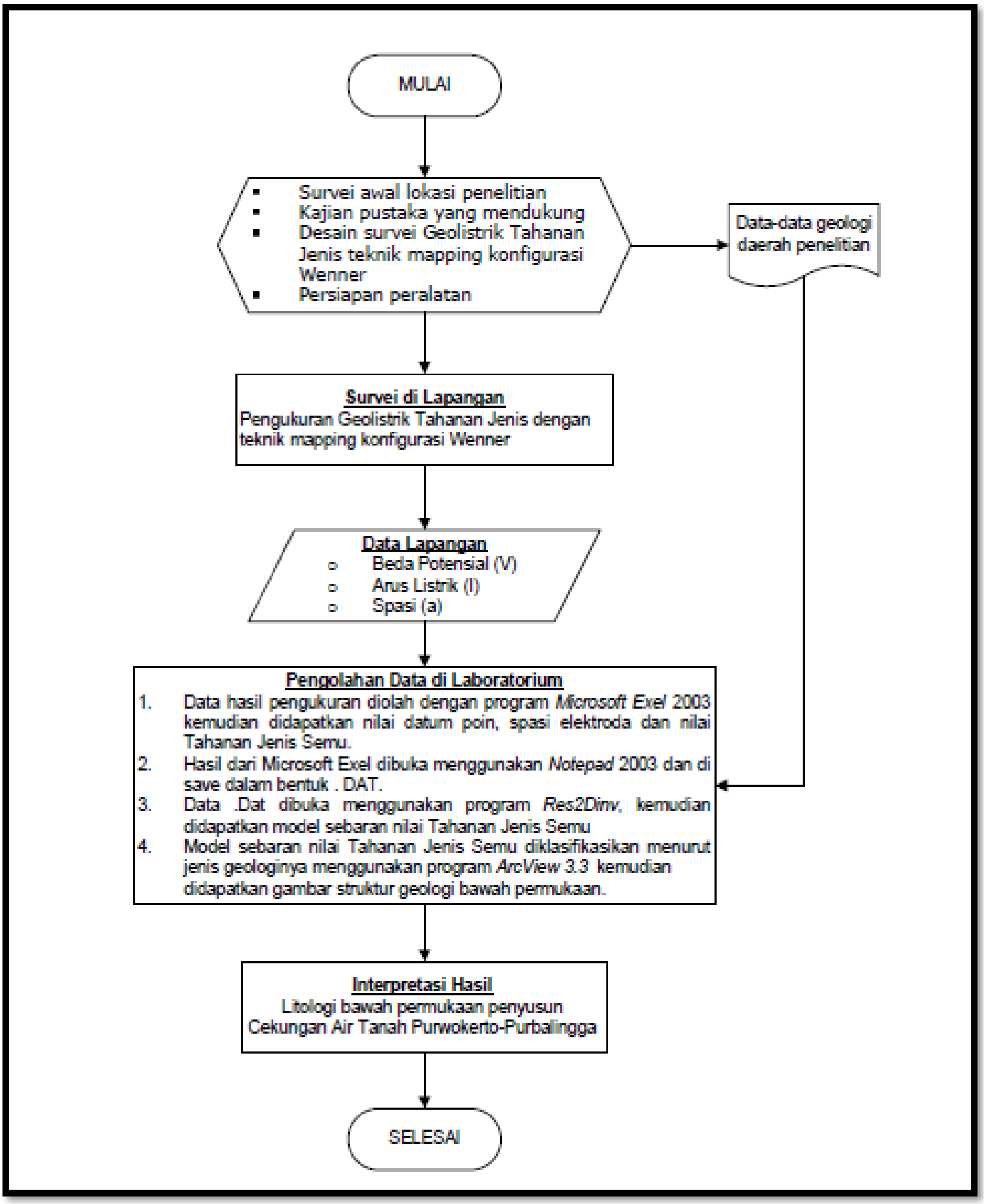
Saat n=6, sensitivitas positif yang bernilai tinggi yang berada di bawah elektroda P1-P2 menjadi lebih terpisah dari nilai sessitivitas tpositif yang tinggi di dekat elektroda C1 dan C2. Ini artinya konfigurasi ini cukup sensitive baik secara horizontal (untuk n dengan nilai rendah) dan struktur vertical (untuk n dengan nilai tinggi). Di area dimana ada struktur geologi baik yang vertical dan horizontal, konfigurasi ini adalah kompromi yang baik antara konfigurasi wenner (lateral) dan dipole-dipole (vertical). Kedalaman investigasi rata-rata dari konfigurasi ini lebih besar 10 % dari konfigurasi Wenner untuk jarak C1 dan C2 yang sama dengan nilai "n" lebih besar daripada 3. Kekuatan sinyal dari konfigurasi ini lebih lemah dai konfigurasi Wenner tetapi lebih besar daripada konfigurasi dipole-dipole dan kekuatan sinyalnya dua kali lebih kuat dari konfigurasi pole-dipole (Dr. M.H. Locke, 2004).



Gambar IV.19. pola dari titik-titik data dalam pseudosection untuk konfigurasi wenner dan wenner-schlumberger. Konfigurasi wenner schlumberger memiliki nilai sensitivitas secara horizontal lebih baik dibandingakan dengan konfigurasi wenner.Cakupan data secara horizontal lebih lebar dibandingkan konfigurasi Wenner, tetapi lebih sempit dibandingkan konfigurasi dipole-dipole (Dr M.H Locke, 2004).

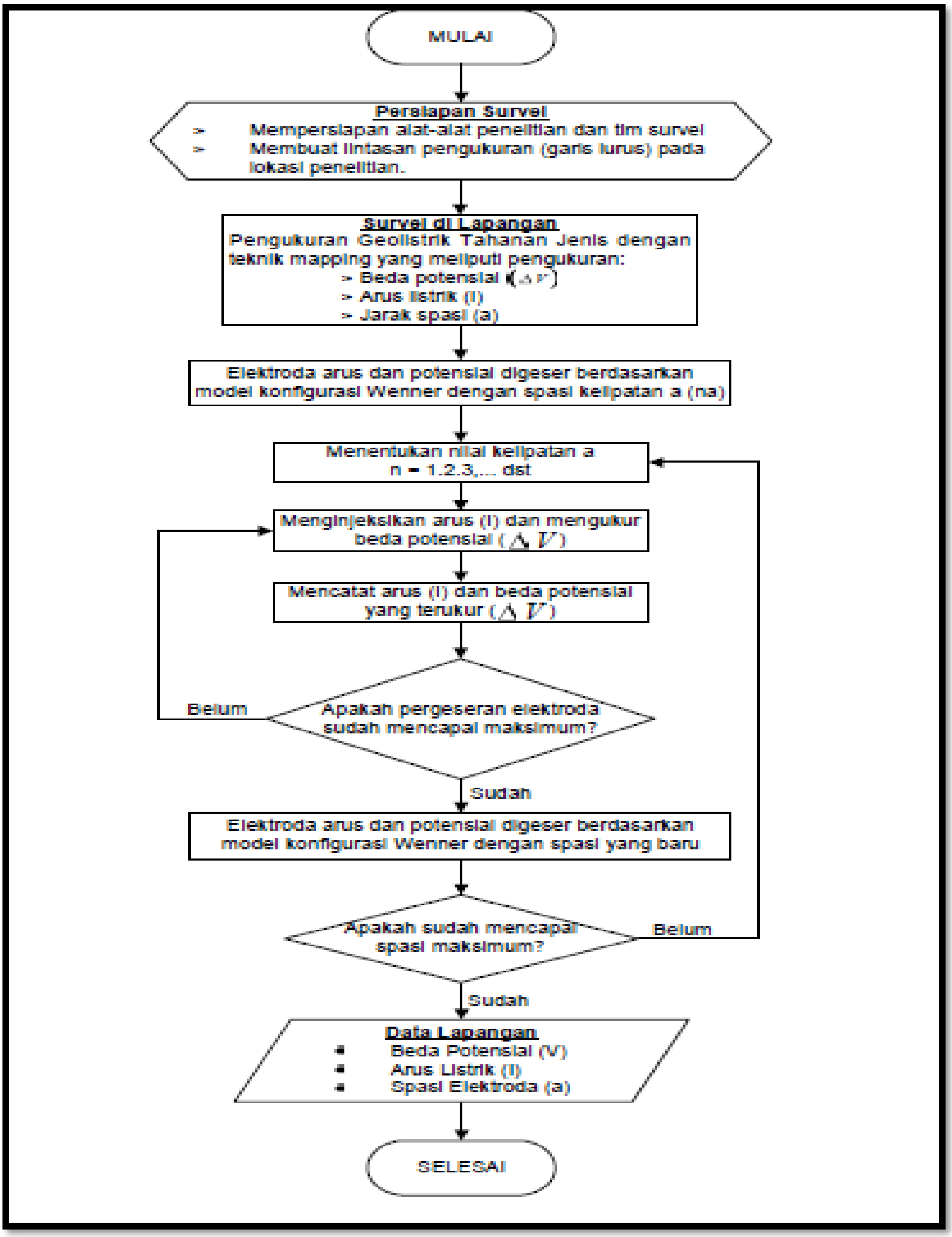
LAMPIRAN A

Diagram Alir Penelitian



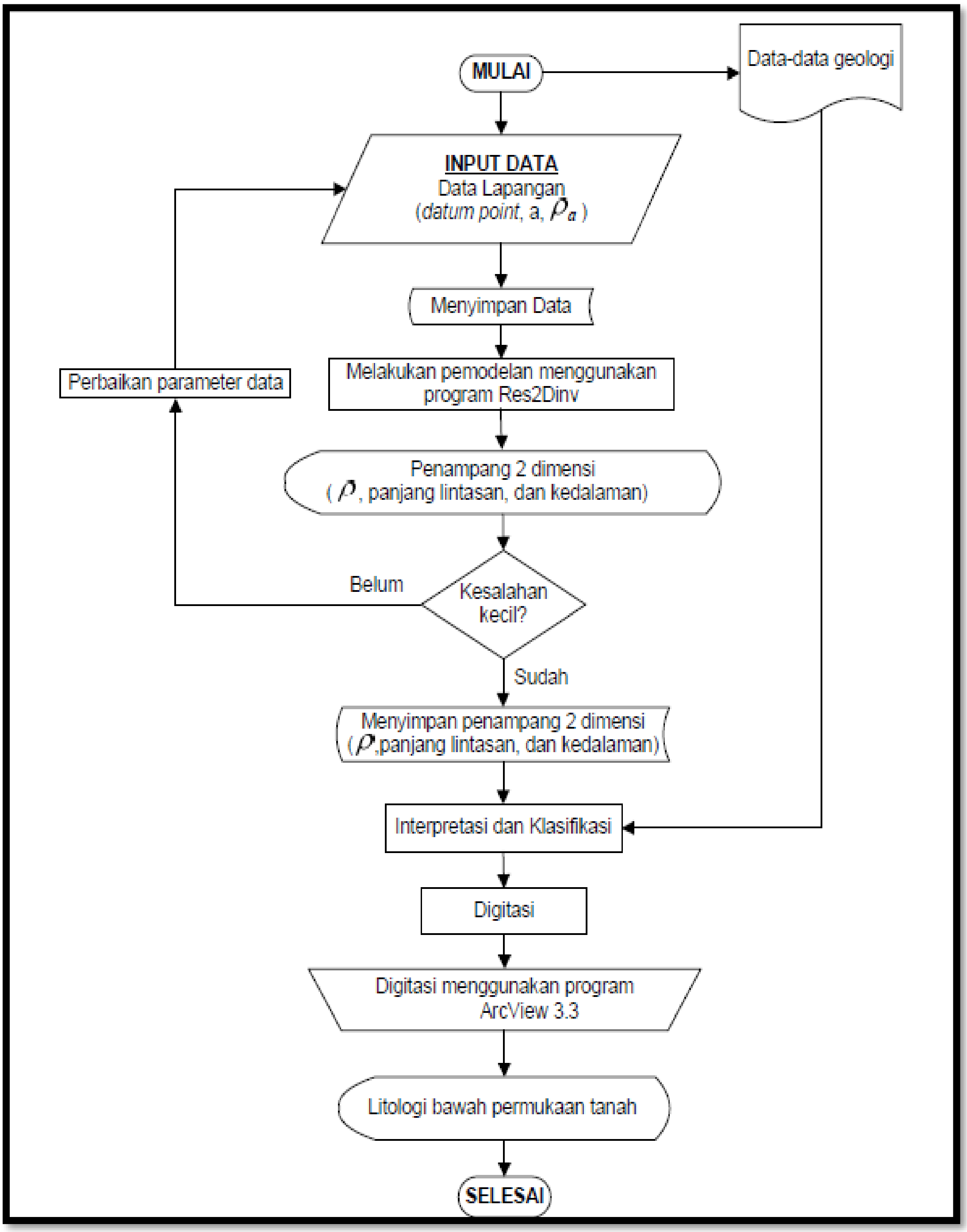
LAMPIRAN B

Diagram Alir Akuisisi Data



LAMPIRAN C

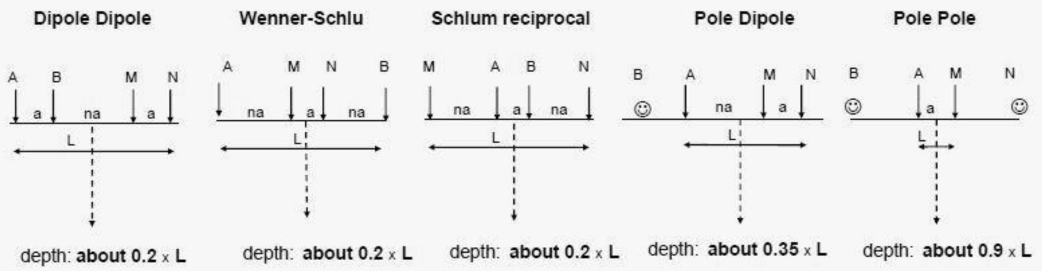
Diagram Alir Pengolahan Data



LAMPIRAN D

Electrode Array

DEFINITION OF MOST USUAL ELECTRODE ARRAYS



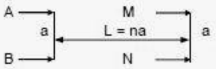
note: the electrode(s) at infinity must be placed at a distance of about 5 to 10 times the maximum line length of the array (L)

Type of array:
- Wenner-Schlumberger
- complete pole-pole
- cross-diagonal pole-pole
- dipole-dipole
- dipole-dipole equatorial
- pole-dipole forward
- pole-dipole reverse
- Wenner
- Wenner-Schlumberger
- Schlumberger reciprocal

rank (1 : best)	**penetration depth** (in % of line length)	**lateral resolution**	**signal amplitude**	**field set up** (# of far electrodes)
1	Pole Pole (90%)	Dipole Dipole	Pole Pole	Wen Schlumb (0)
2	Pole Dipole (35%)	Pole Dipole	Wen Schlumb	Dipole Dipole (0)
3	Wen Schlumb (20%)	Wen Schlumb	Pole DIpole	Pole Dipole (1)
4	Dipole Dipole (20%)	Pole Pole	Dipole Dipole	Pole Pole (2)

Equatorial Dipole Dipole

depth: **about 0.4 x L**



IRIS instruments

LAMPIRAN E

Table 2.1. The median depth of investigation (z_e) for the different arrays (after Edwards 1977). L is the total length of the array. Note identical values of z_e/a for the Wenner-Schlumberger and pole-dipole arrays. Please refer to Figure 1.4 for the arrangement of the electrodes for the different arrays. The geometric factor is for an "a" value of 1.0 meter.

Array type	z_e/a	z_e/L	Geometric Factor	Inverse Geometric Factor (Ratio)
Wenner Alpha	0.519	0.173	6.2832	0.15915 (1.0000)
Wenner Beta	0.416	0.139	18.850	0.05305 (0.3333)
Wenner Gamma	0.594	0.198	9.4248	0.10610 (0.6667)
Dipole-dipole n = 1	0.416	0.139	18.850	0.05305 (0.3333)
n = 2	0.697	0.174	75.398	0.01326 (0.0833)
n = 3	0.962	0.192	188.50	0.00531 (0.0333)
n = 4	1.220	0.203	376.99	0.00265 (0.0166)
n = 5	1.476	0.211	659.73	0.00152 (0.0096)
n = 6	1.730	0.216	1055.6	0.00095 (0.0060)
n = 7	1.983	0.220	1583.4	0.00063 (0.0040)
n = 8	2.236	0.224	2261.9	0.00044 (0.0028)
Equatorial dipole-dipole				
n = 1	0.451	0.319	21.452	0.04662 (0.2929)
n = 2	0.809	0.362	119.03	0.00840 (0.0528)
n = 3	1.180	0.373	367.31	0.00272 (0.0171)
n = 4	1.556	0.377	841.75	0.00119 (0.0075)
Wenner - Schlumberger				
n = 1	0.519	0.173	6.2832	0.15915 (1.0000)
n = 2	0.925	0.186	18.850	0.05305 (0.3333)
n = 3	1.318	0.189	37.699	0.02653 (0.1667)
n = 4	1.706	0.190	62.832	0.01592 (0.1000)
n = 5	2.093	0.190	94.248	0.01061 (0.0667)
n = 6	2.478	0.191	131.95	0.00758 (0.0476)
n = 7	2.863	0.191	175.93	0.00568 (0.0357)
n = 8	3.247	0.191	226.19	0.00442 (0.0278)
n = 9	3.632	0.191	282.74	0.00354 (0.0222)
n = 10	4.015	0.191	345.58	0.00289 (0.0182)
Pole-dipole n = 1	0.519		12.566	0.07958 (0.5000)
n = 2	0.925		37.699	0.02653 (0.1667)
n = 3	1.318		75.398	0.01326 (0.0833)
n = 4	1.706		125.66	0.00796 (0.0500)
n = 5	2.093		188.50	0.00531 (0.0334)
n = 6	2.478		263.89	0.00379 (0.0238)
n = 7	2.863		351.86	0.00284 (0.0178)
n = 8	3.247		452.39	0.00221 (0.0139)
Pole-Pole	0.867		6.28319	0.15915 (1.0000)

LAMPIRAN F

STANDAR PEMAKAIAN ALAT RESISTIVITYMETER

1. Resistivitymeter Iris Syscal R1 Plus *Switch*-72

Gambar 1. Instrumen Iris Syscal R1 Plus *Switch*-72

a. Hubungkan semua kabel konektor antara Resistivitymeter dengan rangkaian elektroda arus (C1 & C2) dan elektroda potensial (P1 & P2). Perhatikan posisi konektor harus sesuai dengan penamaan elektroda yang dihubungkan ke Resistivitymeter.
b. Hubungkan konektor Accu (*External Batteray*) dengan Resistivitymeter
c. Hidupkan alat dengan cara menekan tombol On/Off.
d. Periksa kondisi baterai, tekan tombol "BATT". Catatan untuk pengukuran normal usahakan daya baterai lebih dari 12 Volt. Jika daya baterai menurun akan mengurangi *performance* dari instrument
e. Pilih *mode* pengukuran yang akan dilakukan yang diinginkan tekan tombol "MODE". Maka akan muncul pilihan sebagai berikut :
   - Rho mode
   - Rho and IP Mode
   - Multi-Electrode Mode

f. Pilih konfigurasi elektroda yang digunakan dalam pengukuran, Tekan tombol "E.ARRAY". pada display alat akan muncul pilihan konfigurasi. Tekan tombol panah (↑) atau (↓ untuk memilih konfigurasi.
g. Tentukan parameter lintasan yang digunakan, tekan tombol "SPACING". Isi parameter sesuai dengan spasi elektroda dan panjang lintasan.
h. Periksa semua koneksi/hubungan dari setiap kabel dengan alat, tekan tombol "RS CHECK". Langkah ini bertujuan untuk mengontrol hambatan antara elektroda arus. Jika hambatan terlalu besar >10 Ohm maka akan mempengaruhi kualitas data. Solusinya adalah menambahkan cairan elektrolit seperti $CuSO_4$ pada elektroda arus yang bertujuan utnuk menurunkan nilai hambatan permukaan tanah.
i. Untuk mengetahui level signal yang diterima, tekan tombol "MONITOR"
j. Untuk modifikasi pengaturan pengukuran seperti waktu injksi, *stack,* batas potensial yang diinginkan, tekan tombol "SET UP"
k. Memulai pengukuran dengan menekan tombol "START"
l. Untuk melihat hasil pengukuran, tekan tombol "RESULT"
m. Untuk melihat tampilan hasil yang lainya, tekan tombol "ENTER"
n. Sebelum melakukan pengukuran selanjutnya,tekan tombol "STOP FUNCTION"
o. Ulangi langkah di atas hingga pengukuran selesai.

2. Resistivitymeter Oyo McOhm 2115 A

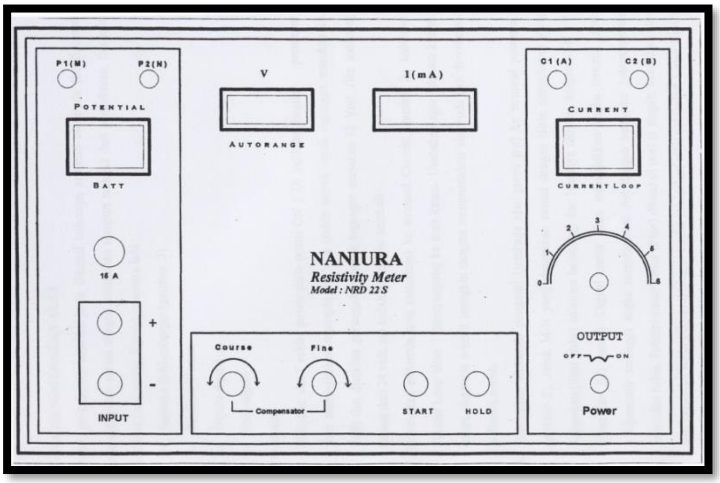
Gambar 2. Bagian-bagian panel alat OYO Model 2115 McOHM dan rangkaian pemasangan elektroda

a. Hubungkan semua kabel konektor antara Resistivitymeter dengan rangkaian elektroda arus (C1 & C2) dan elektroda potensial (P1 & P2). Perhatikan posisi konektor harus sesuai dengan penamaan elektroda yang dihubungkan ke Resistivitymeter.
b. Hubungkan konektor Accu (*External Batteray*) dengan Resistivitymeter
c. Hidupkan alat dengan cara menekan tombol On/Off
d. Periksa kodisi baterai dengan melihat tampilan baterai pada monitor
e. Pilih mode yang diinginkan tekan tombol "MODE" (Rho Mode, SP Mode)
f. Pilih stack yang diinginkan tekan tombol "STACK" (1, 3, 5 dan 7). Langkah ini berfungsi seberapa banyak pengulangan perekaman daa

dalam satu titik pengukuran, semakin besar *Stack* maka hasil pengukuran akan semakin baik.

g. Pilih besarnya arus yang diinjeksikan dengan menekan tombol "CURRENT"
h. Setelah semua pengaturan di atas selesai tekan tombol "ENTER"
i. Memulai pengukuran dengan menekan tombol "MEASURE"
j. Catat nilai beda potensial (V), arus (I) dan hambatan (R) yang tertera pada display alat.
k. Tekan tombol "RESET" sebelum melakukan pengukuran kembali
l. Ulangi langkah di atas hingga pengukuran selesai

3. Resistivitymeter NANIURA NRD 22S



Gambar 3. Instrument Resistivitymeter Naniura NRD 22S

a. Hubungkan semua kabel konektor antara Resistivitymeter dengan rangkaian elektroda arus (C1 & C2) dan elektroda potensial (P1 & P2). Perhatikan posisi konektor harus sesuai dengan penamaan elektroda yang dihubungkan ke Resistivitymeter.
b. Hubungkan konektor Accu (*External Batteray*) dengan Resistivitymeter
c. Hidupkan alat dengan cara menekan tombol On/Off
d. Periksa kondisi baterai dengan melihat *display analog* potensial

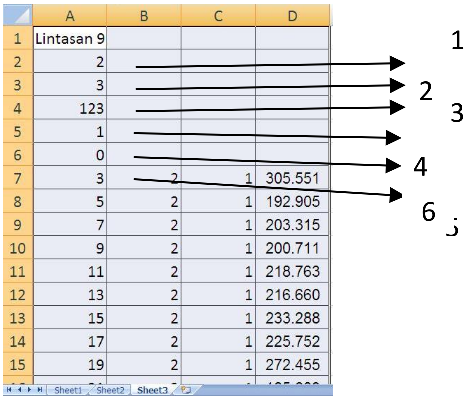
e. Periksa hambatan antara kedua elektroda arus dengan melihat *display analog* arus. Besar kecilnya nilai ini akan mempengaruhi kualitas data. Dikarenakan semakin besar hambatan maka arus yang di injeksikan semakin kecil.
f. Sesuaikan knop "CURRENT LOOP" dengan hasil kalibrasi
g. Posisikan SP pada display digital potensial (V) pada kondisi nol (0) dengan memutar knop "COARSE" untuk orde besar dan "FINE" untuk orde kecil
h. Memulai pengukuran dengan menekan dan menahan tombol "START" sampai nilai potensial (V) dalam keadaan stabil.
i. Tekan tombol "HOLD" untuk menahan nilai potensial pada display digital potensial (V).
j. Sebelum tombol "START" dilepas, catat nilai arus (I) yang dinjeksikan dan beda potensial (V) yang dihasilkan.
k. Ulangi langkah di atas hingga pengukuran selesai.

LAMPIRAN G

Pemodelan Geolistrik 2D Menggunakan Software Res2dinV versi 3.54.44

1. *Sort* data yang sudah diolah di Ms.Excel sesuai urutan datum pointnya

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	n	c2	c1	p1	p2	I	V	R	K	Rsemu
2	1	0	2	4	6	110	892	8.109	37.68	305.551
3	2		4	6	8	110	160.5	1.459	150.72	219.914
4	3		6	8	10	111	38.8	0.350	376.8	131.710
5	4		8	10	12	109	13.6	0.125	753.6	94.027
6	5		10	12	14	109	6.7	0.061	1318.8	81.064
7	6		12	14	16	106	4.6	0.043	2110.08	91.570
8	1	2	4	6	8	92	471	5.120	37.68	192.905
9	2		6	8	10	92	93.7	1.018	150.72	153.505
10	3		8	10	12	91	18.9	0.208	376.8	78.258
11	4		10	12	14	92	10.5	0.114	753.6	86.009
12	5		12	14	16	92	4.8	0.052	1318.8	68.807
13	6		14	16	18	93	3.3	0.035	2110.08	74.874
14	1	4	6	8	10	96	518	5.396	37.68	203.315
15	2		8	10	12	96	103.9	1.082	150.72	163.123



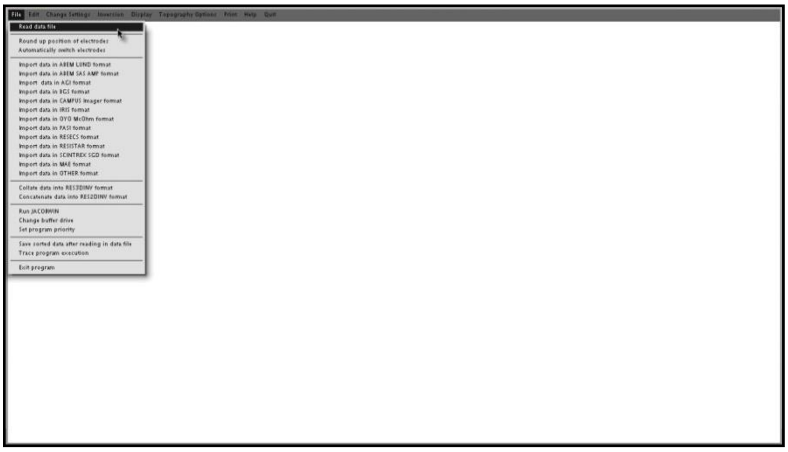
	A	B	C	D
1	Lintasan 9			
2	2			
3	3			
4	123			
5	1			
6	0			
7	3	2	1	305.551
8	5	2	1	192.905
9	7	2	1	203.315
10	9	2	1	200.711
11	11	2	1	218.763
12	13	2	1	216.660
13	15	2	1	233.288
14	17	2	1	225.752
15	19	2	1	272.455

Keterangan:

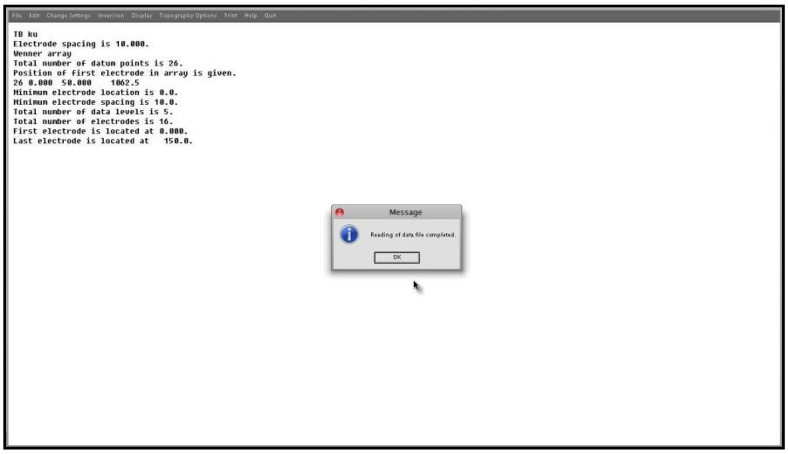
1. Nama-penampang
2. Spasi elektroda
3. Kode konfigurasi
4. Jumlah data
5. *Number of datum point*
6. Kode *resistivity* (0) dan *chargeability* (1)

kode konfigurasi	
konfigurasi	kode
Wenner (alpha)	1
pole-pole	2
dipole-dipole	3
pole-dipole	6
equitorial dipole	8

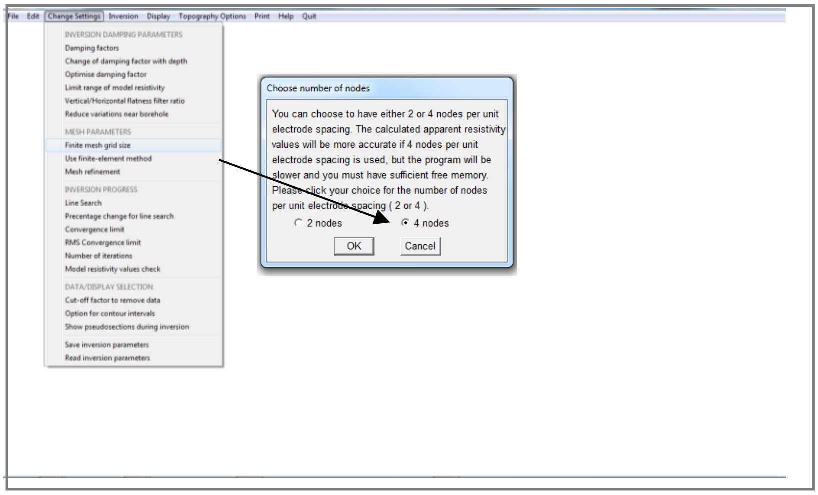
2. Buat ke dalam format pembacaan software, dengan bentuk notepad yang dibuat di surfer lalu save dalam extensi *.*dat*
3. Buka Res2dinV, click File >> Read Data File >> Buka data yang sudah kita *save* dalam format *.*dat*



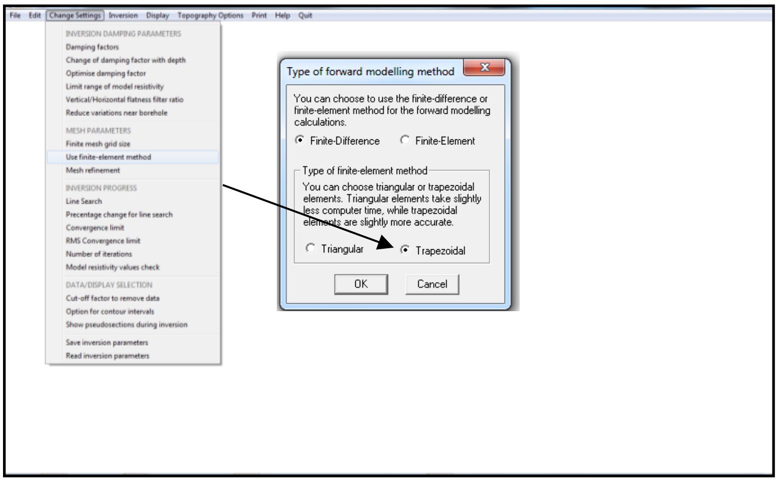
4. Jika format penyusunan data benar maka akan muncul *interactive box* dengan kalimat *Read Data Complete*, jika terdapat data error maka akan ditunjukkan dalam *window* ini.



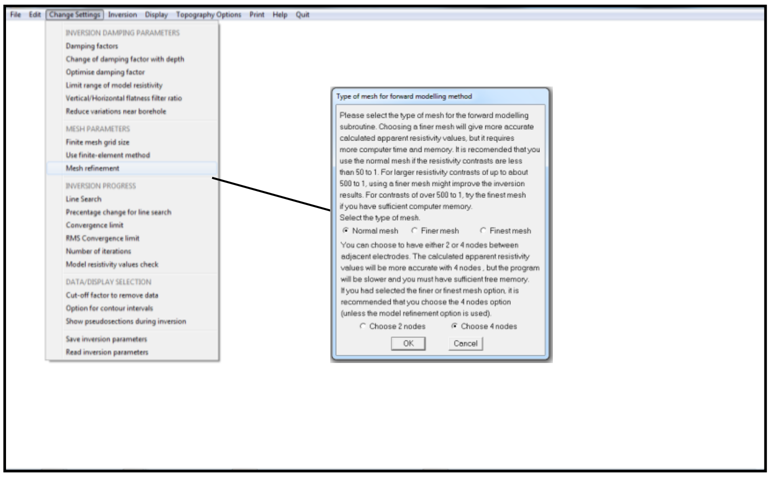
5. Lakukan *setting* parameter untuk griding untuk menghasilkan hasil interpolasi yang lebih *smooth* cara klik menu >> *Change Satting* >> *Finite Mesh grid size* >> *choose 2 or 4 Nodes*. Nilai ini menunjukan ukuran grid untuk interpolasi, semakin besar nilai *nodes* maka interpolasi akan semakin baik.



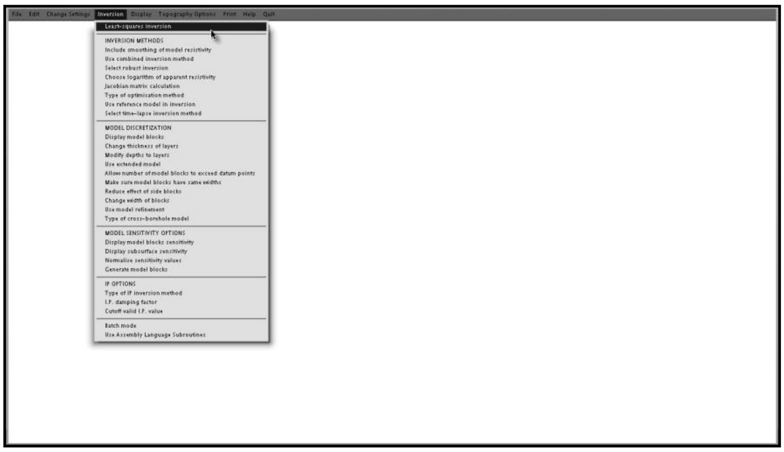
6. Selanjutnya *setting* parameter lain dengan mengeklik Menu >> *Change Setting* >>*Use finite-element method* >> *Choose Finite different & Trapesoidal.*



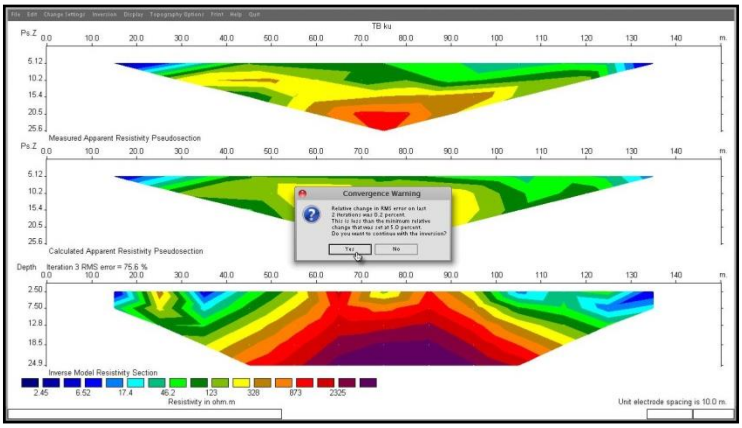
7. Untuk menghasilkan hasil kalkulasi apparent ressitivity yang akurat klik menu >> *Mesh refinement* >> *Choose Finest mest*. Dan sesuaikan dengan nodes yang digunakan >> *Choose 4 Nodes.*



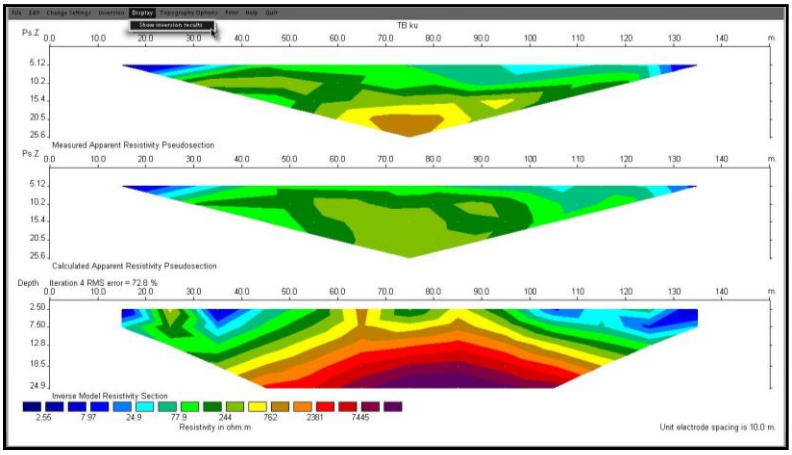
8. Kemudian untuk mulai melakukan pemodelan click menu inversion >> *least-square inversion* >> *Save* ulang data dalam extensi *.INV agar dapat dilakukan *inverse modeling* >> Buka data yang sudah di *save* dalam format *.INV*

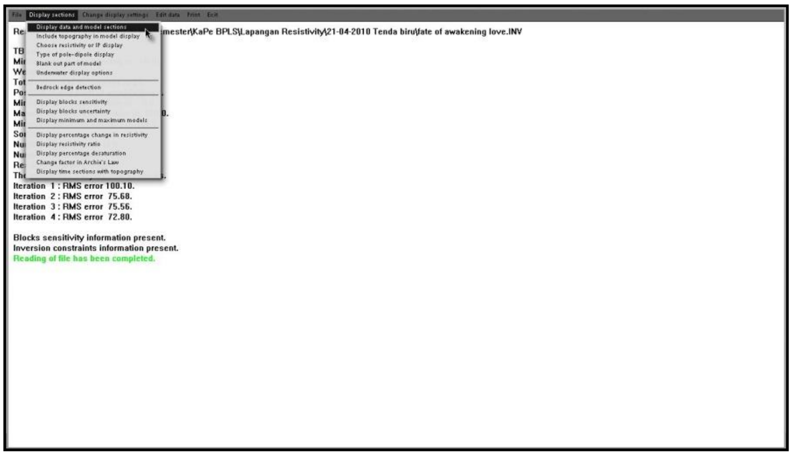


9. Akan muncul tiga gambar penampang beserta *interactive box* yang menampilkan opsi iterasi untuk memperkecil error. Lakukan iterasi max.5 kali.

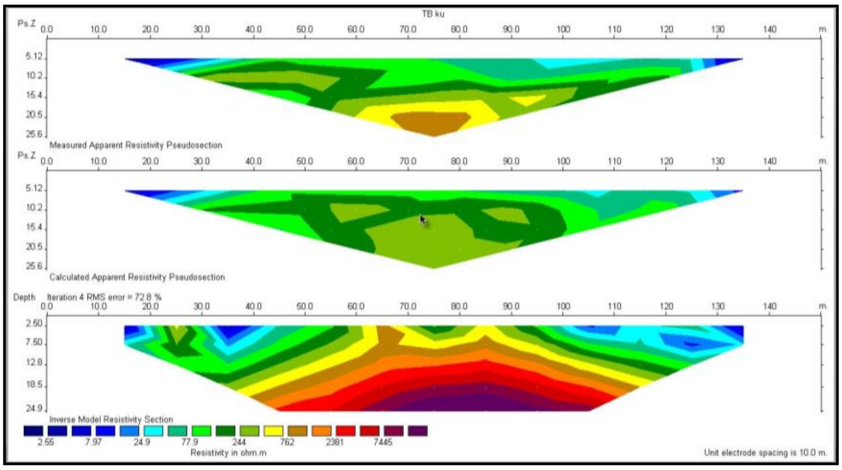


10. Untuk melihat hasil pemodelan click display >> *display inversion result* >> logarithmic contour interval >>ok





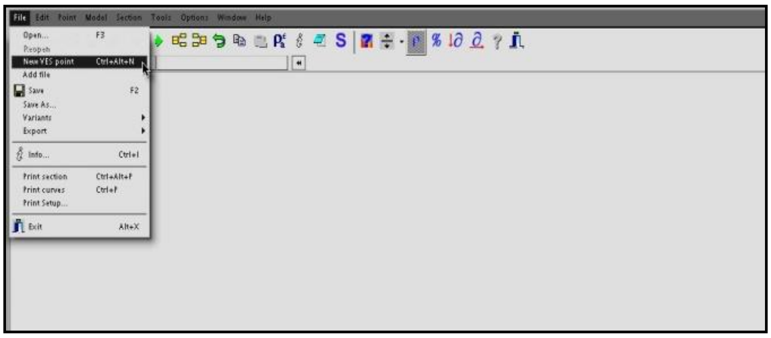
11. Model siap untuk diinterpretasi



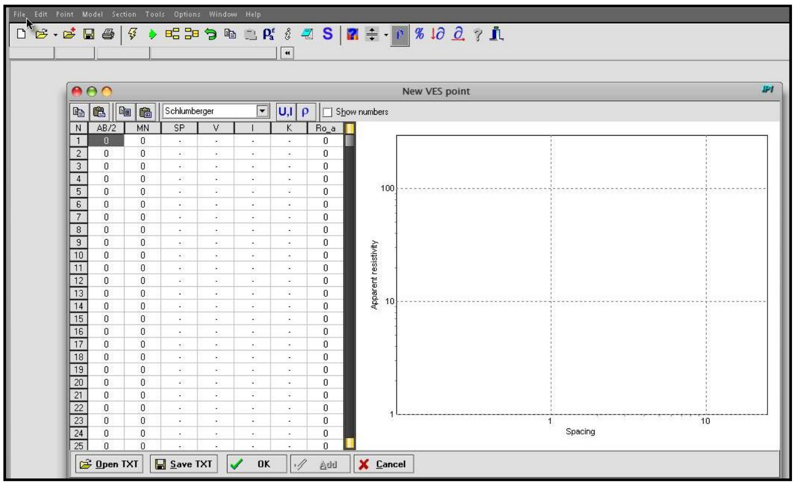
LAMPIRAN H

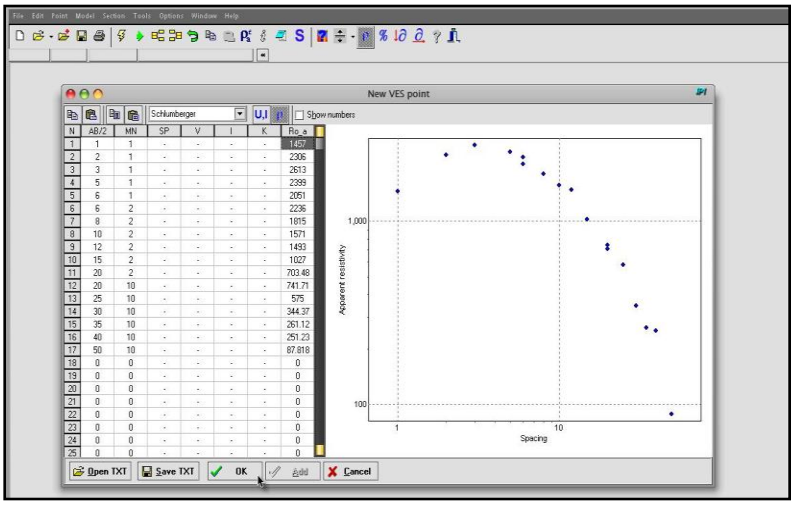
Pemodelan Geolistrik 1D Menggunakan Software IPI2WIN

1. Buka software IPI2WIN

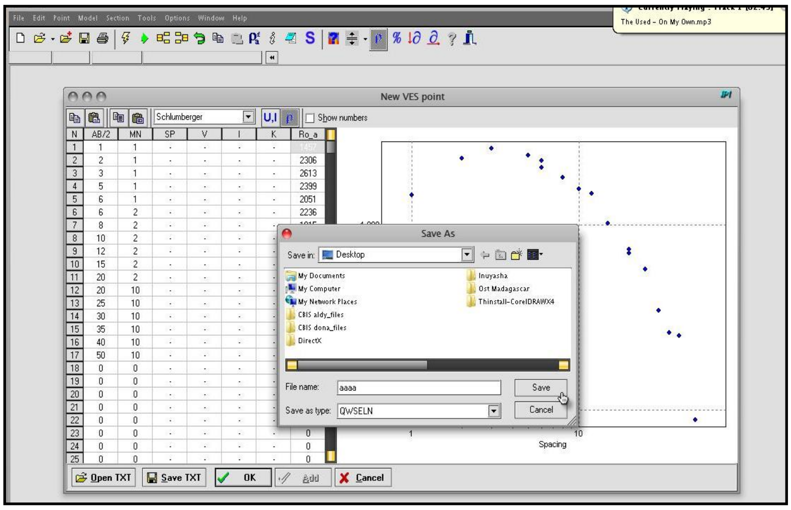


2. Click New VES point >> window untuk input data AB/2, MN, rho >> ok

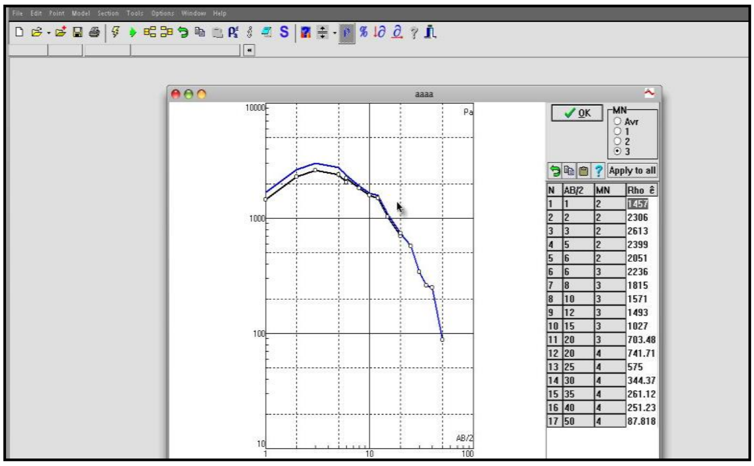




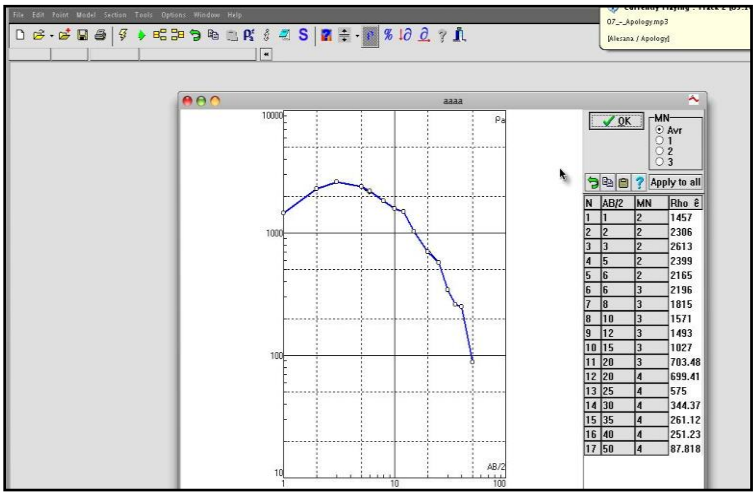
3. Setelah input data akan muncul plotting data di sebelah kanan >> click ok, lalu akan muncul menu untuk menyimpan data dalam format *.QWSELN >> *save*



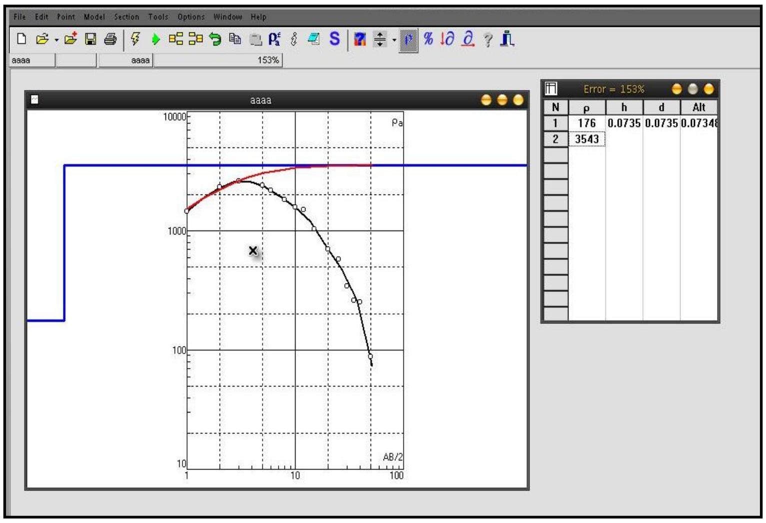
4. Setelah di *save* akan muncul tampilan untuk *smoothing* data, terdapat kurva dengan warna biru yang merupakan pola atau tren data dan kurva warna hitam yang merupakan data lapangan. *Smoothing* dilakukan dengan menarik titik-titik data hingga menyerupai pola dan dinyatakan *smooth* bila kurva biru dan hitam sudah berhimpit >> click ok.

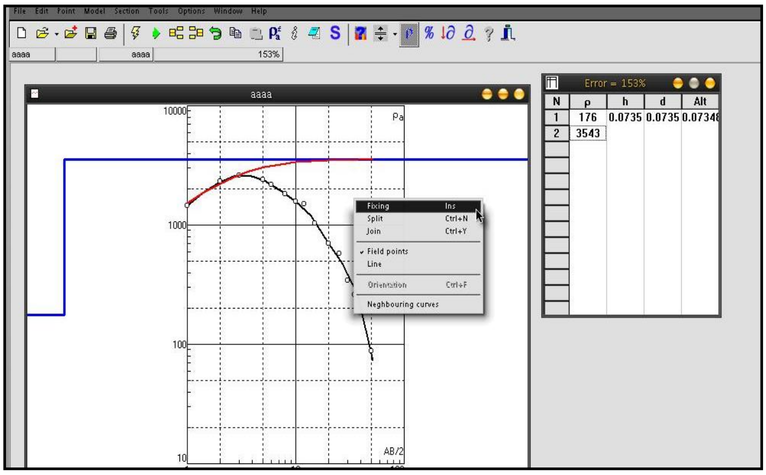


Tampilan setelah *smoothing* :



5. Langkah selanjutnya adalah memodelkan data menjadi beberapa lapisan. Click kanan >> split (untuk membagi garis/ menambahkan lapisan) >> matchingkan kurva dengan menarik garis biru ke kanan/kiri/atas/bawah atau membagi/mengurangi (click kanan >> join) lagi garis hingga diperoleh error terkecil.





6. Model siap untuk diinterpretasi sesuai banyak lapisan, kedalaman, serta ketebalan target,